

UNIVERSITÉ DE MONTPELLIER

FACULTÉ DES SCIENCES

ÉCOLOGIE DE LA RÉGÉNÉRATION NATURELLE DU CÈDRE DANS LE MOYEN ATLAS MAROCAIN

T H È S E

PRÉSENTÉE A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE MONTPELLIER

POUR OBTENIR LE GRADE DE

DOCTEUR-INGÉNIEUR

PAR

LEPOUTRE Bernard

Ingénieur agronome I.N.A.

Soutenue le 20 décembre 1965 devant la Commission d'examen

Jury

M.M. L. EMBERGER Président

P. LOSSAINT }
Ch. SAUVAGE } Assesseurs
G. AUBERT

UNIVERSITÉ DE MONTPELLIER

FACULTÉ DES SCIENCES

ÉCOLOGIE DE LA RÉGÉNÉRATION NATURELLE DU CÈDRE DANS LE MOYEN ATLAS MAROCAIN

T H È S E

PRÉSENTÉE A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE MONTPELLIER

POUR OBTENIR LE GRADE DE

DOCTEUR - INGÉNIEUR

PAR

LEPOUTRE Bernard

Ingénieur agronome I.N.A.

Soutenue le 20 décembre 1965 devant la Commission d'examen

Jury

M.M. L. EMBERGER Président

P. LOSSAINT }
Ch. SAUVAGE } Assesseurs



FACULTÉ DES SCIENCES DE MONTPELLIER

LISTE DES PROFESSEURS

Doyen : B. CHARLES.

Assesseurs : R. JOUTY — M. FALGUEIRETTES.

Doyen honoraire : P. MATHIAS.

Professeurs honoraires : R. JACQUES	E. TURRIÈRE	J. GRANIER
M. CASTERAS	J. SOULA	
E. CARRIÈRE	G. DENIZOT	

Professeurs titulaires :

M. MOUSSERON — Chimie.	M. I. ASSENMACHER — Physiologie animale.
M. L. EMBERGER — Botanique.	M. B. PISTOULET — Physique.
M. Ch. BOUHET — Physique.	M. Ch. ROUMIEU — Analyse supér.
M. P. MATHIAS — Zoologie et Biologie générale.	M. A. POTIER — Chimie minérale.
M. J.P. ROIG — Physique.	M. R. LAFONT — Physique.
M. P. CHATELAIN — Minéralogie et Cristallographie.	M. R. JACQUIER — Chimie.
Mlle O. TUZET — Zoologie et Biologie générale.	M. J. FALGUEIRETTES — Minéralogie.
Mlle G. CAUQUIL — Chimie.	Mme J. CHARLES — Mathématiques.
M. G. COUCHET — Mécanique sup.	M. P. CAILLON — Physique.
M. J. SALVINIEN — Chimie-Physique.	M. J. ROUZAUD — Chimie.
Mlle A.M. VERGNOUX — Physique.	M. Ch. SAUVAGE — Botanique.
M. J. AVIAS — Géologie.	M. P. DUMONTET — Physique.
M. P. VIELES — Chimie.	M. H. CHRISTOL — Chimie.
M. J. RABINGVITCH — Physique (CSU).	M. CASADEVALL — Chimie organique.
M. E. KAHANE — Chimie biologique.	
M. J.J. MOREAU — Mécanique ration.	Professeurs sans chaire :
M. B. CHARLES — Math. pures.	Mme M. DE POUQUES — Botanique (CSU).
M. J. MOTTE — Botanique.	M. P. MURAOUR — Géophysique appliquée.
M. R. JOUTY — Physique.	Mme M. LAFON — Mathématiques.
M. R. LEGENDRE — Zoologie.	M. M. MATTAUER — Géologie.

M. G. TOURNE — Chimie.
M. L. EUZET — Zoologie (CSU).
M. J. REMY — Géologie.
Mme G. VERNET — Biologie animale.
M. H. ANDRILLAT — Astronomie.
M. P. DEMANGEON — Géologie.
M. A. BONNET — Botanique.
M. J.P. LAFON — Mathématiques.
M. C. DELOUPY — Physique.
M. L. GRAMBAST — Botanique.
M. A. SAVELLI — Physique.

Maîtres de conférences :

Mlle N. PIREYRE — Botanique.
Mme Ch. DUBOUL-RAZAVET — Géologie (CSU).
M. E. GROUBERT — Physique.
Mme H. GUASTALLA — Biologie physico-chimique.
M. A. STEINER — Psychophysiologie.
M. G. LAMATY — Chimie.
M. R. GAUFRES — Chimie.
M. F. PROUST — Géologie.

M. A. BASSOMPIERRE — Physique.
M. A. MARTINEAU — Mathématiques.
M. R. MARTY — Physiologie animale.
M. M. MAURIN — Chimie.
M. J.J. SOULIER — Chimie (CSU).
M. J. PARIS — Biologie animale (CSU).
M. P. MOLINO — Mathématiques (CSU).
M. N. ROBY — Mathématiques (CSU).
M. DURAND — Chimie.

Chargés d'enseignement :

M. LEFRANC — Mathématiques.
M. A. STURER — Mathématiques.
Mlle A. BAILLETTE — Mathématiques (CSU).
M. L. CECCHI — Physique (CSU).
M. BOUGNOT — Physique (CSU).

Secrétaire principal :

M. E. SIAU.

ÉCOLOGIE
DE LA RÉGÉNÉRATION NATURELLE
DU CÈDRE
DANS LE MOYEN ATLAS MAROCAIN

PAR

B. LEPOUTRE

Ingénieur agronome I.N.A.



Digitized by the Internet Archive
in 2026

TABLE DES MATIÈRES *

	PAGES
<i>Avant-propos</i>	IX
Introduction	57
1. La germination et l'installation de la plantule	57
2. La survie des plantules	58
CHAPITRE PREMIER	
Influence des facteurs climatiques sur la régénération et le maintien des jeunes plantules de cèdre dans leur première année de croissance	60
A. Généralités	60
B. Les facteurs climatiques dont dépendent les plantules de cèdre	62
1. Essai de mise en équation des facteurs climatiques intervenant dans la survie des germinations. Espérances pluviothermiques	63
a) Pluviométrie	63
b) Evaporation	66
2. Intérêt de la représentation adoptée	68
3. Résumé	68
C. Recherche de la valeur critique L de l'espérance pluviothermique Q limitant les possibilités de survie des plantules	69
1. Principe et détermination	69
2. Etude de quelques courbes d'espérance pluviothermique	70
D. Rôle des facteurs édaphiques dans le cadre climatique	73
1. Incidence des réserves hydriques du sol	73
2. Influence des propriétés physiques du sol	73
a) dans les conditions hydriques normales	74
b) dans les conditions hydriques favorables	74
3. Rôle des facteurs chimiques du sol	77
4. Conclusion	80

* Dans la suite de l'ouvrage, la pagination est double. Elle correspond (chiffre ordinaire) à la publication de l'ouvrage dans les « Annales de la recherche forestière au Maroc » et (chiffre entre parenthèses) à la publication du présent travail comme thèse de docteur-ingénieur.

	PAGES
E. Etude de l'espérance pluviothermique sous le couvert	81
1. Le couvert du taillis de chêne-vert	81
a) Généralités. Critique et valeur des données antérieurement acquises	81
b) Essai d'analyse du rôle du chêne-vert dans le cadre climatique	83
c) Détermination de ΔQ , rôle améliorant du couvert de chêne-vert	85
— Mise en équation	85
— Vérification de l'évaluation du rôle améliorant du couvert de chêne-vert : ΔQ	88
d) Résumé : Construction de la courbe d'espérance pluviothermique sous le couvert du taillis de chêne-vert	89
e) Etude de quelques courbes d'espérance pluviothermique sous le couvert du taillis de chêne-vert	90
f) Conclusions sur l'action totale du couvert de chêne-vert ..	91
g) Variations du rôle améliorant du couvert	92
— Variation dans le temps	92
— Variation dans l'espace	95
2. Les autres couverts	96
a) Les couverts de la futaie	96
b) Les couverts à feuilles caduques	97
F. Caractéristiques climatiques des régénérations de lisière et leur interprétation bioclimatique	99
1. Les conditions climatiques	99
a) Espérance pluviothermique à découvert supérieure à la limite édapho-pluviothermique	100
b) Rôle du couvert négatif	101
2. Rôle des facteurs édaphiques	102
3. Rôle des facteurs climatiques	103

CHAPITRE II

Synthèse des mécanismes climato-écologiques dans la régénération du cèdre	108
A. A découvert	108
1. Récapitulation et comparaison des divers secteurs climatiques de la cédraie actuelle	108
2. Commentaire	109
a) Les durées des périodes de germination possible et favorables à la survie des plantules de cèdre	109

b) Essais de comparaison avec les étages bioclimatiques d'EM-BERGER	110
3. Extrapolation à la limite de la cédraie basse et sous la cédraie actuelle	111
a) Etude des courbes d'espérances pluviothermiques à basse altitude	111
b) Abaque climato-écologique du cèdre	112
c) Commentaire de l'abaque climato-écologique	114
4. Influence de l'altitude sur la durée des périodes de germination compatibles avec la survie des jeunes plantules	116
a) Etablissement des courbes	116
b) Commentaire	117
1° Variation de la durée avec l'altitude dans la cédraie actuelle	117
2° Variation de la durée avec l'altitude en descendant le front atlantique	118
B. Sous couvert du taillis de chêne-vert	121
1. Durée d'action efficace du couvert de chêne-vert sur le maintien de la plantule de cèdre	121
a) Premier cas : à l'intérieur de la cédraie	121
b) Deuxième cas : extrapolation aux zones d'altitude plus basse que la cédraie actuelle	122
C. Conclusion	124
1. Schéma	124
2. Les facteurs écologiques pris isolément	124
a) Le climat	124
b) Le sol	125
c) Le couvert	125
d) Les versants	125
e) La concurrence herbacée	126
3. La subordination des facteurs écologiques	126
a) Le sol	127
b) Le couvert	128
c) L'effet de versant	128
d) La concurrence herbacée	129
4. Bilan	130

CHAPITRE III

Le cèdre essence climax. — Evolution climatique	133
1. Stabilité et durabilité du climax	133
2. Essence d'ombre et de lumière	136

CHAPITRE IV

	PAGES
Règles fondamentales à respecter dans le futur aménagement de la cédraie	137
A. Généralités	137
B. Nécessité d'un réseau climatologique dense	137
C. Règles provisoires pour déterminer les conditions climatiques ou microclimatiques du milieu	138
1. Le chêne-vert témoin climatique ou microclimatique	139
a) Premier cas : Présence de semis sous le couvert de la cépée de chêne-vert	139
b) Deuxième cas : Absence de semis sous le couvert des cépées de chêne-vert	140
c) Résumé	141
2. Choix des interventions dans les principaux milieux climatiques	141
a) Généralités	141
b) Interventions dans les divers types climatiques de la régénération	142
3. Interventions dans la futaie	145
a) La futaie de chêne-vert	145
b) La futaie de cèdre	145
4. Utilisation des places à feu	146
a) Choix de l'emplacement	146
b) Opportunité dans le temps	147
5. Régénération artificielle	147
a) Plantation	148
b) Semis	148
c) Cas particulier des chênaies de basse altitude	148
d) Places à feu	148
Conclusions générales	150
Résumés	154
Bibliographie	160

INDEX DES FIGURES

Figures dans le texte

	PAGES
Climatogramme n° 1. Espérances pluviothermiques : P_e mm	64
— n° 2. Evolution saisonnière du quotient pluviothermique d'EMBERGER	67
Graphique n° 7. Croissance radiculaire de semis de cèdre sur différents matériaux. Elevage en pots à Rabat ...	78
— n° 8. Variation de la température à l'ombre et au soleil sur quatre stations à Kissarit le 21 juillet 1960 ..	86
— n° 15. Intensité et durée dans l'année moyenne du rôle améliorant du couvert de chêne-vert : ΔQ	94
— n° 16. Occurrence des régénérations de lisière	106
— n° 21. Durée d'action efficace du couvert de chêne-vert sur le maintien de la plantule dans l'année météorologique moyenne	120
— n° 23. Possibilité de maintien de la plantule de cèdre en fonction du couvert et du climat	131

Figures sous pochette

Document n° VIII.	Climatogramme n° 3. Espérances pluviothermiques à découvert. Ifrane-Tiguelmamine 1959-60.	
— IX.	Climatogramme n° 4. Espérances pluviothermiques à découvert. Ifrane-Tiguelmamine 1957-58.	
— X.	Climatogramme n° 5. Espérances pluviothermiques à découvert. Ifrane-Tiguelmamine 1954-55.	
— XI.	Climatogramme n° 6. Espérances pluviothermiques à découvert. Ain Kahla.	
— XII.	Climatogramme n° 9. Espérance pluviothermique sous chêne-vert. Ifrane année moyenne.	
— XIII.	Climatogramme n° 10. Espérance pluviothermique sous chêne-vert. Tiguelmamine 1959-60.	
— XIV.	Climatogramme n° 11. Espérance pluviothermique sous chêne-vert. Tiguelmamine 1954-55.	

Document n°	XV.	Climatogramme n° 12. Espérance pluviothermique sous chêne-vert. Ain Kahla 1950-55.
—	XVI.	Climatogramme n° 13. Espérance pluviothermique sous chêne-vert. Azrou année moyenne.
—	XVII.	Climatogramme n° 14. Espérance pluviothermique sous chêne-vert. El Hajeb année moyenne.
—	XVIII.	Climatogramme n° 17. Durées comparatives les plus probables pour quelques stations, des périodes à la fois compatibles thermiquement avec la germination de la graine et favorables pluviothermiquement à la survie des plantules pendant le premier été. Leur équivalence climatique.
—	XIX.	Climatogramme n° 18. Espérances pluviothermiques à découvert à basse altitude.
—	XX.	Graphique n° 13. Abaque climato-écologique du cèdre à découvert.
—	XXI.	Climatogramme n° 20. Durée moyenne de la période de germination favorable à la survie de la plantule de cèdre à découvert.
—	XXII.	Graphique n° 22. Abaque climato-écologique du cèdre sous le couvert du chêne-vert.
—	XXIII.	Espérances pluviothermiques comparées à Ifrane et Bédoin.

INDEX DES VUES PHOTOGRAPHIQUES

	PAGES
Cliché n° 1. Semis de cèdre âgés de 9 mois sur sol brun basaltique ...	77
Cliché n° 2. Semis de cèdre âgés de 9 mois sur sable dolomitique	77
Cliché n° 3. Semis de cèdre âgés de 9 mois sur argile rouge de décalcification très compacte	77
Cliché n° 4. Semis de cèdre âgés de 9 mois sur sol rouge argilo-limoneux	77
Cliché n° 5. Versant nord du Djbel Hébri	101
Cliché n° 6. Versant sud du Djbel Hébri	101
Cliché n° 7. Les deux lisières caractéristiques du versant nord du Michlifén	102
Cliché n° 8. Un aspect de la cédraie d'altitude en versant nord	116
Cliché n° 9. Vigueur et jeunesse de la cédraie de basse altitude	116

AVANT-PROPOS

La recherche en matière forestière, plus qu'en toute autre, est un travail de longue haleine. Alors que l'agronome peut souvent conclure à brève échéance, du fait qu'il étudie un matériel vivant dont le cycle végétatif se déroule en l'espace de quelques saisons, le forestier est, pour sa part, contraint, par la nature, à patienter souvent plusieurs années avant de récolter le fruit de ses efforts. Encore, ne connaît-il pas toujours avec exactitude l'historique de son matériel d'étude et ne peut-il pas davantage être assuré qu'il représente bien le bilan des phénomènes naturels. De tous temps, l'homme a, en effet, exploité la forêt en y recherchant son profit immédiat, sans que celui-ci corresponde toujours à une spéculation d'avenir.

Une forêt naturelle, comme la cédraie du Moyen Atlas marocain représente donc un domaine en perpétuelle évolution, réagissant à la fois à tous les facteurs écologiques, mais aussi à l'action plus ou moins anarchique de l'homme.

J'ajouterai, enfin, à ce tableau complexe, un facteur particulièrement difficile à interpréter, je veux parler du facteur temps.

Comme chacun sait, le cèdre de l'Atlas possède, en effet, cette faculté de pouvoir vivre plusieurs siècles et, par là même, il nous oblige à considérer tout état actuel de la forêt comme l'aboutissement d'un ensemble de phénomènes, dont le déroulement dans le temps s'inscrit davantage dans le cadre historique que dans celui d'une génération de forestiers.

C'est dire, finalement, tout ce que je dois à l'esprit de continuité qui a toujours été de règle dans la poursuite des travaux à la Station de Recherches forestières du Maroc, depuis sa création par le Conservateur J.P. Chalot, puis sous la direction du Conservateur A. Métro et, jusqu'à ce jour, avec son Directeur actuel, le Conservateur J. Claudot.

Sans les archives forestières, et plus particulièrement celles de J. Marion, précieusement conservées à la Station de Recherches de Rabat, sans, également, cet immuable objectif qu'est le but à atteindre, en dépit de multiples autres tâches toutes pleines d'intérêts, sans doute, mais comportant combien de risques de dispersion et d'inefficacité, il est vraisemblable que le travail présent n'aurait pu aboutir. Je dois en exprimer toute ma gratitude à M. le Conservateur J. Claudot, qui ne fut pas seulement pour moi un chef, mais aussi mon premier guide dans l'investigation forestière.

Sans doute dois-je beaucoup, aussi, à la formation que j'ai reçue de l'Office de la Recherche scientifique Outre Mer, et plus particulièrement à mon maître, le professeur G. Aubert, qui a su m'inculquer tous les principes fondamentaux nécessaires pour aborder un domaine de recherche aussi complexe que l'écologie.

Je dois cependant convenir que le travail présent a posé pour moi, dès son origine, un réel changement d'orientation dans mes méthodes de travail.

Neuf années d'enquêtes agronomiques et pédologiques en Afrique noire avaient fait de moi un pédologue de terrain, mais non un chercheur forestier, et c'est à M. le Professeur Duchaufour que doivent aller, cette fois-ci, ma gratitude pour l'amabilité et la compétence avec lesquelles il a bien voulu m'accueillir dans son laboratoire en 1959 et m'ouvrir véritablement les yeux sur les problèmes de recherche et la façon de les aborder à l'aide du précieux outil qu'est la pédologie.

On pourra s'étonner, en effet, que mon travail concerne davantage la bioclimatologie que la pédologie, alors que cette dernière discipline est l'aboutissement de ma formation scientifique.

Je répondrai, d'abord, en disant que le Maroc en est partiellement responsable, pour être une véritable école de la recherche en équipe. J'y ai trouvé en effet, sur le terrain, non seulement des camarades attirés, comme moi, par le désir de connaître, mais, aussi, des maîtres capables de m'ouvrir des horizons nouveaux et de me faire percevoir pleinement l'imbrication de toutes les disciplines scientifiques dans l'étude d'un seul problème forestier.

Peut-on aussi abandonner la recherche de la solution d'un problème comme celui de la régénération du cèdre, quand, tout à coup, on s'aperçoit qu'elle se situe en marge d'une discipline qui vous est propre, mais qu'on a néanmoins les moyens d'aborder ?

J'avoue n'avoir pu résister à cette tentation du chercheur sur la piste de la découverte et ne pense pas avoir failli pour autant dans l'exécution de la tâche qui m'était confiée.

Il m'est impossible de citer ici tous les concours directs ou occasionnels dont j'ai pu, de la sorte, profiter, et je prie de m'en excuser. Mais je dois exprimer plus particulièrement ma reconnaissance à mon camarade de recherches A. Pujos, pour l'aide précieuse qu'il m'a souvent apportée, grâce à son don d'observation, grâce, aussi, à nos multiples discussions qui ont si laborieusement fait progresser ma compréhension du terrain.

Je dois, aussi, remercier le personnel de l'Administration forestière au Maroc, les divers chefs de Circonscription, de Subdivision ou d'Arrondissement, qui ont toujours apporté leur plus large collaboration à l'exécution des travaux en forêts, particulièrement M. Jolly, sous-chef de district à la Station de Recherches, dont la scrupuleuse conscience professionnelle et la patience ont été mises à rude épreuve par les inventaires cartographiques annuels des semis de cèdre en forêt.

Ce travail a été rédigé pour être présenté comme thèse de docteur-ingénieur.

S'il a pu aboutir dans ce sens, je le dois, sans aucun doute, aux travaux antérieurs faits, en climat méditerranéen, sur la liaison entre la végétation et les conditions thermiques et pluviométriques.

Dans ce domaine, je tiens à souligner l'importante contribution apportée par les travaux de M. le professeur L. Emberger et sa définition d'étages bioclimatiques en relation avec le quotient pluviothermique. C'est en effet ce quotient, et ses précédentes utilisations, qui m'ont mis finalement sur la voie d'une solution aux problèmes écologiques posés par la régénération du cèdre.

A son auteur, correspondant de l'Institut, j'exprime ma très vive gratitude d'avoir bien voulu accepter de présider le jury de ma thèse.

Je remercie, aussi, M. le professeur Lossaint qui a bien voulu faire partie du jury et y apporter son érudition en matière de pédologie forestière.

Enfin, je tiens à exprimer plus spécialement ma reconnaissance à M. le professeur Sauvage, également membre du jury, qui a bien voulu, dès l'élaboration des premiers résultats, marquer un intérêt tout particulier à mes recherches, me conseiller, et finalement m'apporter suffisamment d'encouragements pour que ce travail puisse être présenté comme thèse. Il m'est agréable de lui redire, à présent, à quel point il a, effectivement, contribué à entretenir en moi cette « passion du naturaliste » dont il faisait encore mention dans une récente publication.

Rabat, 25 février 1965.

ÉCOLOGIE DE LA RÉGÉNÉRATION NATURELLE DU CÈDRE DANS LE MOYEN ATLAS MAROCAIN

par B. LEPOUTRE

INTRODUCTION

Le cèdre (*Cedrus libanotica* LINK sp. *atlantica*) est, sans aucun doute, avec le chêne-liège, l'une des essences forestières qui, jusqu'à présent a fait l'objet des plus importantes recherches en matière sylvicole et écologique, au Maroc.

Malheureusement, comme il est de coutume dans ce domaine, c'est une somme considérable d'observations et de résultats qu'il faut accumuler avant de pouvoir pénétrer véritablement les mécanismes qui régissent le cycle végétatif de l'essence depuis son installation jusqu'à sa disparition ou jusqu'à son remplacement par une régénération naturelle.

En ce qui concerne le cèdre, c'est vraisemblablement cette nécessité qui n'a fait qu'aucun travail d'ensemble, autre que celui de MARION, ait pu traduire, encore, l'importance des efforts déployés par le Service forestier au Maroc.

Pour sauvegarder la forêt, et assurer le remplacement de la fraction du capital exploité ou exploitable, il fallait pouvoir déterminer les causes d'une disparition de la cédraie, en cours, en altitude, et, en même temps, connaître les règles écologiques d'installation de la régénération naturelle du cèdre.

Il n'est pas rare, en effet, de parcourir la cédraie, pendant des heures durant, sans rencontrer le moindre semis de cèdre, alors que l'arbre le plus jeune de la futaie est âgé de trois cents ans environ. On comprendra donc l'inquiétude justifiée du forestier devant l'inefficacité et l'inadaptation de ses méthodes sylvicoles habituelles.

A l'inverse, la présence de quelques taches isolées de semis dans des conditions toujours très particulières, telles que des décapages fortuits, des places à feu, des lisières, etc., surprend tout autant, cette fois-ci, par l'incohérence apparente des manifestations de la nature.

Ces observations, véritablement contradictoires, n'ont pas été sans troubler encore davantage la compréhension du problème, à tel point que, pour le traduire, certains forestiers ont pu parler des « facteurs occultes qui régissent la régénération du cèdre ».

Il n'est pas dans notre intention de retracer ici le long cheminement de la recherche qui a précédé l'élaboration du travail que nous allons exposer ; néanmoins, nous devons mentionner les importants documents laissés par MARION en 1955 et qui ont constitué la base de nos premières recherches.

Celles-ci ont débuté en 1959 et une première mise au point fut faite en 1961 (LEPOUTRE 1961). Elle comportait une étude analytique du milieu édaphique, et des influences diverses des caractères du sol sur l'installation et le maintien des jeunes plantules de cèdre. La succession des résultats et des échecs devait alors nous permettre l'élaboration de nouvelles hypothèses de travail et nous orienter progressivement vers des problèmes écologiques plus vastes, faisant intervenir d'abord le milieu biologique avec l'étude des mycorrhizes et enfin le milieu climatique que nous abordions en 1963.

C'est la synthèse, en fait, de ces travaux que nous allons tenter de faire, mais, avant de l'aborder, il est nécessaire de rappeler les principales conclusions auxquelles nous avons abouti.

L'analyse des conditions édaphiques (LEPOUTRE 1961) fait apparaître tout d'abord deux sortes de problèmes clés dans l'étude de la régénération du cèdre :

— Celui de la germination de la graine.

— Celui du maintien des jeunes plantules dans leur première année de croissance et en particulier dans le courant du premier été.

Il faut souligner, cependant, que ces problèmes ne se posent pas avec la même acuité dans toute la cédraie du Moyen Atlas.

Alors que la cédraie de basse altitude, comprise en gros entre les altitudes 1600 et 1850 - 1900 m est relativement jeune, et que le semis de cèdre s'y installe assez facilement, souvent en profitant du couvert de

chêne-vert, au contraire, les cédraies situées entre 1900 et 2200 mètres sont très souvent séniles, claires, et sans régénération.

Nous conserverons cette distinction dans la suite de l'exposé sous les vocables respectifs de cédraie basse et cédraie haute, bien que le passage entre ces deux types de cédraie soit parfois difficile à déterminer.

1. La germination de la graine et l'installation de la plantule de cèdre

Déjà en 1961 l'étude de l'évolution de l'humidité des sols dans le temps avait mis en évidence certaines impossibilités de germination dans des conditions édaphiques particulières telles que sur les sols possédant des horizons A_0 de surface très importants et très riches en matière organique. A un degré moindre également sur des sols à fortes teneurs en argile.

Finalement les matériaux à points de flétrissement élevés ou à forte teneur en alcalino-terreux nous ont paru réunir l'ensemble de ces conditions néfastes et nous écrivions déjà à ce sujet : (LEPOUTRE 1961)

« Dans un climat à sécheresse estivale intense comme c'est le cas, on se rendra compte alors de l'importance considérable que peut avoir la vitesse de germination qui, si elle est suffisamment grande, doit permettre à la radicelle d'atteindre des horizons mieux protégés contre la dessiccation. »

...« De la même façon un ensemencement ou une germination tardifs, comme c'est le cas en cédraie d'altitude ne permettrait pas à la racine de se développer assez pour atteindre des horizons protégés de la dessiccation. »

Et enfin « Quelle que soit la conclusion à la quelle nous aboutissons il est de toutes manières évident que le décapage des horizons de surface par la suppression des horizons humifères est une opération qui devrait être généralisée en cédraie même si elle ne nous assure pas d'un succès certain. ».

Nous trouvions là l'explication des germinations et même des régénérations plus abondantes sur sable dolomitique (rendzines magnésiennes) que sur argile (sols rouges méditerranéens).

La différenciation entre sols basaltiques et calcimorphes trouvait également là son origine, tandis que les décapages artificiels ou fortuits nous apparaissaient comme des milieux particulièrement favorables.

Mais de grosses lacunes subsistaient. En particulier le rôle du taillis de chêne-vert, accueillant les semis sous son couvert en cédraie basse et restant désespérément inefficace en altitude, n'avait pas été élucidé.

2. La survie des plantules

A ce sujet l'analyse foliaire avait montré certains déséquilibres dans l'alimentation minérale des jeunes cèdres. Des absorptions de phosphore, potassium et azote particulièrement élevées, en désaccord avec les quantités dites assimilables, ne pouvaient se justifier en tous cas par des richesses chimiques différentes des sols.

Finalement, le maintien systématique des semis de cèdre mycorrhizés, contrairement à ceux qui ne le sont pas, leur croissance accélérée et l'activation de leur poussée radiculaire dans des conditions de sol et de climat identiques, nous obligeraient à admettre le rôle important joué par les mycorrhizes dans la résistance des semis à la sécheresse, soit directement, soit indirectement, en permettant aux racines d'échapper à la dessiccation estivale des horizons superficiels du sol.

Plus récemment (LEPOUTRE 1963) nous établissions la relation entre le mécanisme de régénération par taches et le rôle du milieu fongique.

Enfin les deux problèmes, germination et survie, viennent d'être abordés *ensemble* dans une première analyse des facteurs climatiques (LEPOUTRE, PUJOS 1963).

Indépendamment de l'intérêt propre des facteurs thermiques nouvellement mis en évidence, et en particulier du rôle joué par les températures maximales nous nous apercevions alors de la subordination de tous les autres éléments du milieu écologique à ceux du cadre climatique.

En effet, le dépouillement des relevés météorologiques effectués en cédraie pendant trois années successives, montrait que la graine de cèdre et l'installation de la plantule ne pouvaient se faire que dans des conditions thermiques bien déterminées : en aucun cas il n'était possible d'observer la levée du semis si la température maximale journalière de 9,5°C n'était atteinte pendant 7 à 10 jours consécutifs.

On pouvait en déduire une plus ou moins grande précocité de l'installation des plantules suivant que ces conditions étaient remplies respectivement tôt ou tard dans l'année. La cédraie basse apparaissait comme un

milieu très favorable aux semis précoces et la cédraie haute comme un milieu extrêmement défavorable.

Compte tenu de la plus grande facilité de régénération du cèdre à basse altitude, là où, précisément, les températures printanières sont plus précoces, et ses difficultés en altitude où les froids tardifs sont fréquents, il était logique de penser que le facteur précocité pouvait devenir une question de vie ou de mort pour le semis, dans un climat où la sécheresse d'été sévit régulièrement à date fixe.

Ainsi, on pouvait prévoir que dans certains secteurs climatiques de cédraie les conditions thermiques ne permettraient pas aux semis de s'installer assez tôt pour pouvoir échapper à la dessiccation estivale du sol et ceci indépendamment des autres facteurs du milieu.

Inversement, certains caractères des sols ou du milieu botanique retardant le phénomène de germination en ralentissant la croissance, risqueraient d'entraîner la disparition ultérieure des plantules.

Il restait à savoir dans quel cas le milieu climatique, ou le reste du milieu écologique, était déterminant.

Il nous a donc paru du plus grand intérêt de préciser davantage, le rôle du climat dans l'espoir de disposer les divers facteurs écologiques à leur place respective par ordre d'importance.

En résumé, nous espérons de la sorte tenter *une synthèse générale du milieu* faisant apparaître les incidences réciproques de ses divers rouages.

CHAPITRE PREMIER

**INFLUENCE DES FACTEURS CLIMATIQUES
SUR LA RÉGÉNÉRATION ET LE MAINTIEN
DES JEUNES PLANTULES DE CÈDRE
DANS LEUR PREMIÈRE ANNÉE DE CROISSANCE**

A. GÉNÉRALITÉS

Notre attention avait été attirée en 1962 à Ifrane (1650 m) par une apparition très tardive des germinations en même temps que par leur rareté. Les premières plantules de cèdre s'installèrent en effet en avril cette année-là au lieu de février comme les autres années.

Nous étions certains que le facteur sol n'était pas en cause, pour avoir vu multitude de plantules sur les mêmes stations les années précédentes.

Nous étions certains également que l'importance de l'ensemencement ne pouvait être à l'origine de cette absence de germination en mars, puisque les ensemencements artificiels étaient eux aussi voués à l'échec.

La cause devait donc nécessairement résider parmi les facteurs climatiques de la fin de l'hiver ou du printemps 1962.

Ainsi, l'année agricole 1961-1962 qui au début s'était montrée très défavorable pour nos travaux de recherche, en supprimant la presque totalité des germinations qui constituait notre matériel d'étude, devait finalement nous fournir des données précises sur la mise en place des plantules de cèdre dans leur milieu naturel.

Rappelons les résultats principaux obtenus dans ce premier travail ; car ils sont à la base de toutes les démonstrations qui vont suivre :

1° Pour des hauteurs de précipitations normales ou supérieures à la normale la date d'apparition *des premières* « germinations » est commandée par l'évolution de la température maximale et l'installation de la plan-

tule ne peut se faire que si la température maximale journalière atteint la valeur de $+9,5^{\circ}\text{C}$ pendant une durée de huit à dix jours.

2° Ces conditions sont généralement remplies quand la température maximale mensuelle moyenne relevée sous abri est voisine ou supérieure à $+10^{\circ}\text{C}$.

3° Sur une même station d'observation, les plantules de cèdre peuvent donc apparaître plus ou moins tardivement suivant les années, ou suivant la région climatique considérée, dans le courant d'une même année.

4° Les températures d'été sont toujours plus élevées dans la cédraie de basse altitude. Il apparaît donc impossible d'attribuer un rôle fondamental à la sécheresse d'été *pour différencier* les cédraies du type d'Ifrane, de celles d'altitude, puisque, précisément le cèdre se régénère mieux où les conditions de sécheresse estivale sont les plus sévères (1650 m).

C'est alors que nous avons entrevu l'importance considérable du facteur « précocité » des germinations qui non seulement permet d'expliquer la présence de la jeune cédraie là où elle se trouve, mais encore, permet de préciser les limites d'action de certains autres facteurs écologiques tels que les facteurs édaphiques en particulier.

En effet, les plantules apparues à Ifrane en février bénéficient d'une période de croissance de l'ordre de cinq mois avant de subir les rigueurs de l'été. Parallèlement celles qui ne peuvent apparaître qu'en avril, à l'occasion d'une année mauvaise en cédraie basse ou comme presque tous les ans en altitude, n'auront que trois mois de croissance avant l'arrivée de la sécheresse.

Il va de soi que ces dernières plantules voient leurs chances de survie singulièrement réduites.

Si on étudie l'humidité du sol, puis sa dessiccation au cours des mois il devient évident que le bilan hydrique n'aura de valeur comparative que pour des « germinations de même âge », une plantule d'un mois étant beaucoup plus sujette à la dessiccation du sol en surface qu'une plantule de trois mois dont la racine est déjà à quinze ou vingt centimètres de profondeur.

L'importance du rôle joué par les facteurs du milieu est donc étroitement dépendante de l'âge des « germinations » donc de leur date d'apparition.

L'ensemble des facteurs édaphiques ne peut pas échapper à ce mode d'action et nous devons prévoir qu'un facteur favorable à la croissance restera peut-être insuffisant pour permettre le maintien d'une plantule apparue trop tardivement. Inversement, il ne paraît pas impossible que des plantules très précoces puissent se maintenir dans des milieux édaphiquement pauvres. En d'autres termes encore, on peut prévoir qu'un milieu édaphique risque d'être favorable ou impropre à la régénération *suivant le milieu climatique où il se trouve*. On entrevoit donc finalement la nécessité de définir exactement le rôle des divers facteurs climatiques dans les principaux secteurs de la cédraie.

La connaissance plus précise du milieu climatique nous est ainsi apparue indispensable avant de pouvoir interpréter correctement les données fournies par l'étude du sol, et pour ne pas nous orienter vers la recherche d'un facteur édaphique responsable d'un effet dont la cause serait essentiellement climatique.

C'est donc finalement le mécanisme d'action des facteurs climatiques que nous allons tenter d'analyser dans les pages qui suivent.

B. LES FACTEURS CLIMATIQUES DONT DÉPENDENT LES PLANTULES DE CÈDRE

Laissons de côté pour le moment la date d'apparition des plantules, et considérons les jeunes « germinations » de l'année dans leur première année de croissance.

Les nombreuses observations sur le terrain (MARION, LEPOUTRE, PUJOS) nous ont appris que la mortalité des germinations était souvent considérable, soit qu'elle ait lieu avant juillet soit qu'elle ait lieu dans le courant de l'été. Par ailleurs on peut considérer que les jeunes plantules ayant atteint, vivantes, le mois d'octobre sont provisoirement sauvées jusqu'à l'été suivant.

Ainsi l'importance des pertes dénombrées jusqu'au mois d'octobre est telle que la totalité des effectifs peut disparaître en l'espace de quelques mois.

Pour les individus qui auront à se maintenir, les épreuves ne sont certes pas terminées et la sécheresse des étés successifs continuera à faire des ravages pendant trois ans encore (LEPOUTRE 1963).

Nous limiterons cependant notre étude à la première année de croissance des plantules ; comme on va le voir ceci permettra déjà de fixer les chances de la plus grande partie des ensemencements, et surtout de fixer immédiatement les premières données climatiques qui s'opposent rigoureusement à toute régénération du cèdre. *Alors seulement* il sera possible d'étudier les facteurs édaphiques dans les secteurs climatiques où il leur est encore permis de jouer.

1. Essai de mise en équation des facteurs climatiques intervenant dans la survie des germinations : espérance pluviothermique

a) PLUVIOMÉTRIE.

Etant donné les conditions de sécheresse estivale sévères qui attendent les plantules chaque année, il est normal de penser que la jeune germination aura d'autant plus de chances de se maintenir jusqu'en octobre qu'elle sera davantage alimentée en eau.

Toutes choses égales par ailleurs, plus les précipitations post-hivernales seront importantes et meilleures seront donc les conditions de survie. Cependant une tranche seulement de ces précipitations intéresse la plantule ; il s'agit essentiellement de celle qui tombe à partir de sa naissance jusqu'au mois d'octobre (c'est ce dernier mois que nous avons pris pour limite d'étude).

Il ne s'agit donc pas tellement pour nous d'étudier la pluviométrie annuelle (Méthode d'EMBERGER) ou même saisonnière (Méthode GIACOBBI ou THORNTHWAITE) mais bien plutôt la hauteur des précipitations qui restent à tomber à partir d'un instant précis jusqu'à la fin de l'été. Ainsi, pour une station déterminée, et pour chaque date d'apparition des plantules, nous connaissons la quantité d'eau maximale qui sera mise à sa disposition.

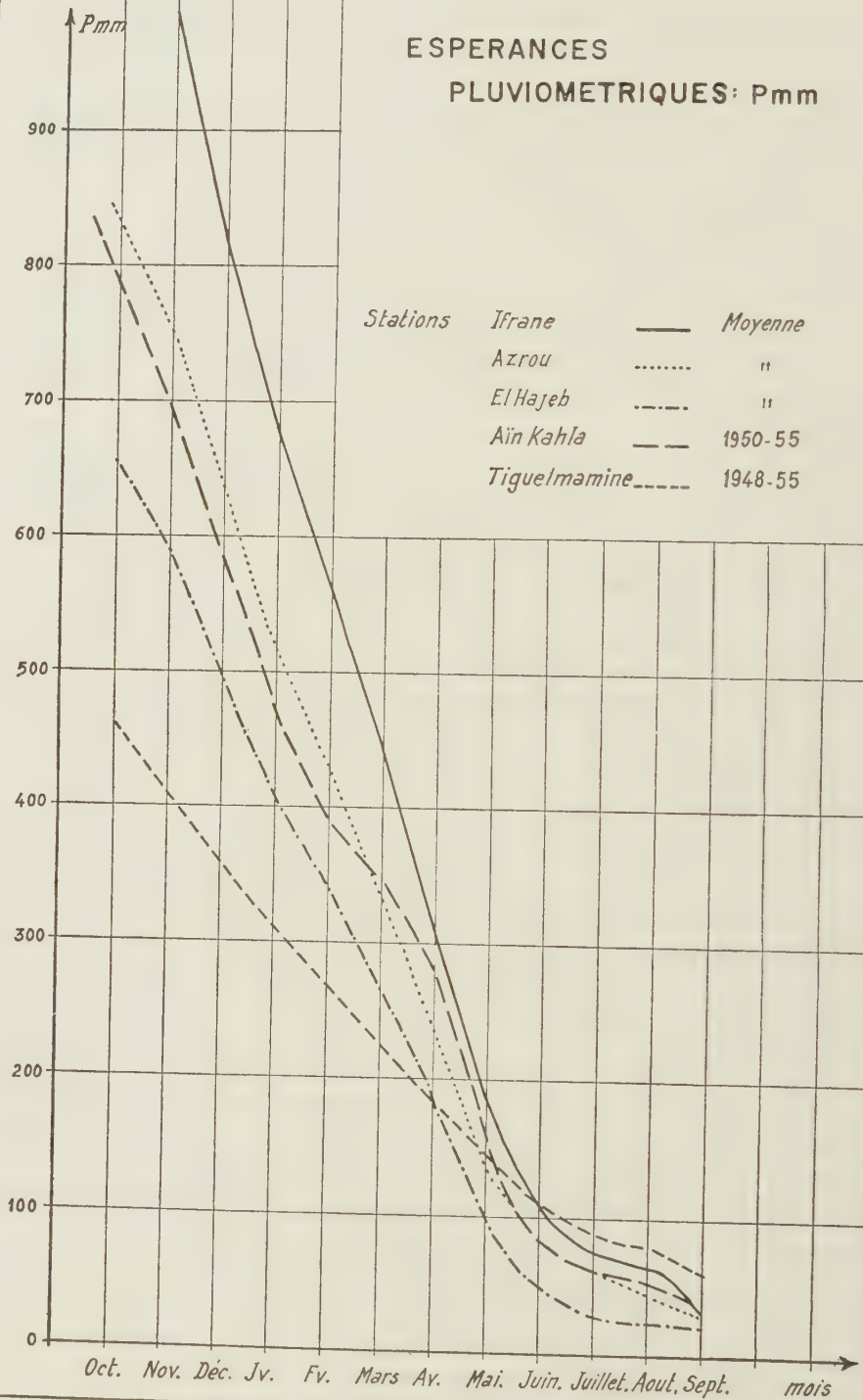
Il faut cependant noter que si l'on recherche un bilan hydrique *exact*, la méthode est critiquable du fait qu'elle néglige les réserves en eau du sol au moment de la germination de la graine. Nous verrons que cette approximation ne nuit pas aux conclusions si on associe les données climatiques aux observations biologiques et en particulier si on raisonne en se référant chaque fois à la plante en l'occurrence la plantule de cèdre.

Il devient possible avec cette optique de comparer des stations différentes.

Climatogramme N°1

ESPERANCES

PLUVIOMETRIQUES: Pmm



Le climatogramme 1 montre quelques-unes de ces courbes que nous appellerons pour plus de commodité « courbes d'espérances pluviométriques » bien que le terme soit impropre car nous savons déjà quelles sont les hauteurs d'eau qui restent à tomber.

Il est intéressant d'y constater, par exemple, qu'une germination apparue en avril à Ifrane (1650 m) se trouvera dans les mêmes conditions que celle qui surviendrait en janvier à Tiguelmamine (2100 m). De la même façon, plus la date d'apparition des germinations est tardive plus les conditions pluviométriques des diverses stations se rapprochent.

Pour chaque station d'observation considérée, il est possible déjà de placer sur les courbes le point correspondant à la date d'apparition des germinations. En effet le mois où la température maximale moyenne atteint $+10^{\circ}\text{C}$ (LEPOUTRE 1963) peut facilement être retrouvé dans les archives météorologiques et c'est ce mois que nous prendrons comme abscisse du point recherché.

Son ordonnée nous donnera alors la quantité d'eau dont la germination bénéficiera pendant sa première année de croissance. Cette quantité dépendra de la date de germination d'une part et du régime pluviométrique de l'année considérée d'autre part. On voit que la mortalité des plantules pourra donc être provoquée aussi bien par un régime pluviométrique annuel particulièrement sec, même avec une germination précoce, que par une date d'implantation tardive qui peut annuler les effets bénéfiques d'une année pluviométrique normale, supérieure à la normale, ou ceux d'un milieu édaphique particulièrement favorable.

Cette façon de considérer la pluviométrie précise donc déjà les conditions des divers secteurs de la cédraie, à l'égard des semis. Cependant, il apparaît tout de suite difficile de définir les valeurs critiques de P (espérances) au-delà desquelles les germinations seraient vouées à disparaître. En effet ceci implique que la pluviosité est seule en cause. Cela semble bien improbable et il suffit de penser au rôle néfaste joué par les vents chauds d'été (chergui, sirroco) pour s'en convaincre.

Pour la mise en équation des facteurs climatiques il nous faut donc faire intervenir l'évaporation.

b) EVAPORATION.

Pour les mêmes raisons qui nous ont conduits à étudier la pluviométrie « en espérance » c'est-à-dire de la période qui va de la date d'apparition

de la germination jusqu'au premier octobre, nous devons traduire l'évaporation à chaque instant, pour la période qui reste à courir jusqu'à la fin de l'été.

Ces considérations sur la pluviométrie et l'évaporation ainsi que la nécessité de les associer pour pouvoir comparer le climat auquel sont soumises les plantules nous ont fait tout naturellement penser aux indices climatiques et plus précisément à celui d'EMBERGER, établi pour les régions méditerranéennes en particulier.

Ces indices, comme le quotient d'EMBERGER, représentent généralement l'ensemble d'une année climatique pour une région déterminée. Nous serons tenus en ce qui nous concerne de le considérer à chaque instant de l'année pour la période qui reste à s'écouler jusqu'à octobre.

Cette méthode pourra alors nous fournir des valeurs comparables pour tous les milieux mais également pour toutes les germinations *quelle que soit leur date d'apparition*. Il suffira simplement de comparer des quotients pluviothermiques en prenant comme origine de temps la date d'apparition des germinations.

Il s'agit somme toute d'élargir la notion de quotient pluviothermique à une période de végétation comme l'avait déjà suggéré son auteur (EMBERGER 1933) mais en suivant son évolution dans le temps d'une part et en utilisant simultanément et à chaque instant une espérance pluviométrique et une espérance d'évaporation.

En d'autres termes nous pouvons dire que les chances de survie de la plantule de cèdre sont proportionnelles à la hauteur d'eau qui reste à tomber jusqu'en octobre. On peut écrire :

$$\text{Chances de survie} = K P (\text{espérances}) + K_2$$

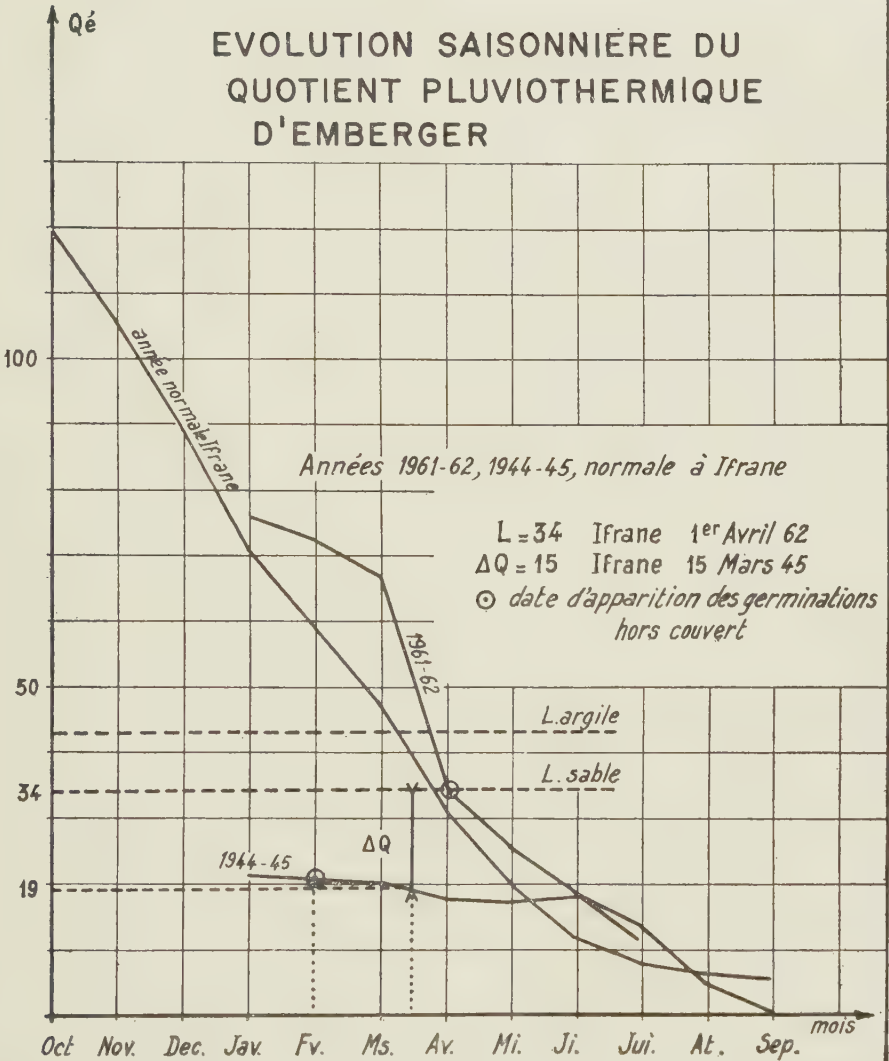
Ces mêmes chances sont inversement proportionnelles à l'évaporation que la plantule aura encore à subir d'où

$$\text{Chances de survie} = K_1 \frac{P (\text{espérances})}{E (\text{espérances})} + K_3$$

Ayant choisi l'indice d'EMBERGER, nous adopterons comme lui l'expression approchée de E, donnée par la température maximale du mois le plus chaud et la température minimale du mois le plus froid ; mais toujours pour la période de croissance de la plantule.

Climatogramme N° 2

EVOLUTION SAISONNIÈRE DU QUOTIENT PLUVIOTHERMIQUE D'EMBERGER



On aura alors :

$$\text{Chances de survie} = k \frac{P \text{ (espérances)}}{2 \left(\frac{M+m}{2} \right) (M-m)} \times 100$$

où précisons-le bien *toutes les valeurs correspondent à la période de croissance de la jeune plantule* et où le facteur de multiplication 100 est conservé pour permettre des comparaisons ultérieures avec l'ancien quotient d'EMBERGER.

Comme l'étude générale que nous faisons va nous amener à comparer ces chances de survie pour des dates d'apparition très différentes il n'est pas nécessaire de connaître *le facteur k*, mais nous allons devoir dresser

la courbe de l'évolution du rapport $\frac{P_e}{2 \left(\frac{M+m}{2} \right) (M-m)} \times 100$ dans le temps.

Pour chaque année, et chaque station d'observation ou même pour les années météorologiques moyennes nous avons ainsi obtenu un certain nombre de climatogrammes que l'on trouvera ci-joints (clim. 2, ci-contre, 3, 4, 5, 6 sous pochette).

Il nous est possible pour une année déterminée de connaître la date d'apparition des premières plantules. Celles-ci bénéficient alors d'un certain nombre de chances qui seront en liaison avec le rapport :

$$Q_e = \frac{P_e}{2 \left(\frac{M+m}{2} \right) (M-m)} \times 100$$

que nous appellerons dorénavant l'espérance pluviothermique (par analogie avec le quotient du même nom). Cette espérance sera déterminée sur chaque courbe appropriée et définira les conditions climatiques de croissance de la plantule pour chaque date d'apparition de celle-ci.

(1) M et m en degrés centigrades.

2. Intérêt de la représentation adoptée

Avant de poursuivre il est bon de faire valoir un certain nombre des avantages que nous apporte cette représentation.

a) Tout d'abord elle nous permet de comparer les chances de survies des plantules sur des stations géographiquement différentes puisqu'il s'agit d'un indice climatique.

b) Ensuite elle nous permet de comparer ces chances à l'échelle du temps c'est-à-dire pour les semis de même âge. Il apparaît en effet absurde maintenant de comparer l'état d'une germination apparue en février à Ifrane par exemple avec celui d'une autre germination apparue en mars à Aïn Kahla ou en avril à Tiguelmamine. Il est bien évident que ces trois germinations n'auront pas les mêmes chances de survie quel que soit le sol si nous les considérons au mois de juin par exemple.

c) Enfin cette représentation climatique inclut à la fois :

— le climat annuel puisque l'espérance pluviothermique maximale correspond à l'ancien indice annuel d'EMBERGER ;

— le climat saisonnier et en particulier la longueur et l'intensité de la saison sèche car chaque point de la courbe définit *toute* la période qui va suivre. On conçoit sur ce dernier chapitre tout l'intérêt d'une représentation en liaison aussi étroite avec les périodes de végétations.

3. Résumé

Nous allons pouvoir affecter à chaque « germination » et suivant sa date d'apparition un quotient pluviothermique ou espoir pluviothermique qui caractérisera sa période de croissance. Nous pourrons comparer toutes nos germinations quelle que soit leur origine et évaluer leur chance de survie en fonction de l'aridité du milieu. De la même façon qu'un étage de végétation peut être limité par deux quotients pluviothermiques, il est logique de penser qu'en dessous d'une valeur critique *L* du quotient affecté à la germination, cette dernière ne pourra pas subsister, même dans les meilleures conditions édaphiques et disparaîtra avant le mois d'octobre. Nous pouvons fixer approximativement la date d'apparition des premières germinations grâce aux températures maximales. Il reste à déterminer *L* pour savoir s'il existe *en un lieu choisi* une impossibilité climatique au maintien de la germination dans sa première année de croissance.

**C. RECHERCHE DE LA VALEUR CRITIQUE L
DE L'ESPÉRANCE PLUVIOMÉTRIQUE Q_e
LIMITANT LES POSSIBILITÉS DE SURVIE DES PLANTULES**

1. Principe et détermination

La connaissance de la valeur L prise par l'espérance pluviothermique est du plus grand intérêt car, lorsque Q_e sera inférieur à L nous savons par définition que les germinations seront vouées à disparaître.

Un certain nombre de conditions sont nécessaires pour connaître la valeur L : Il faut que la mortalité des germinations *ne soit pas due à un autre facteur qu'un facteur climatique*, et il faut aussi que quelques rares germinations aient pu subsister, pour ne pas être trop en deçà de la valeur critique L.

Ces conditions, nous les avons trouvées réunies pour l'année agricole 1961-1962 sur sol dolomitique et en l'absence de couvert sur les banquettes du périmètre de reboisement d'Ifrane (cf. Généralités, p. 60). Il faut préciser que partout ailleurs à découvert les germinations n'ont pu subsister ; les banquettes bénéficient toutefois d'un léger effet de protection de versant est, sur lequel nous reviendrons.

Il nous suffit donc de dresser la courbe $Q_e = f(t)$ pour l'année 1962 à Ifrane puis de rechercher la valeur de la fonction à la date d'apparition des germinations c'est-à-dire le 1^{er} avril (cette date a été fixée par nos observations de terrain et non par la température maximale mensuelle). Cette valeur est nécessairement voisine de la valeur critique cherchée L.

Le climatogramme n° 2 (page 67) rend compte de ces données et montre que la valeur limite critique de $Q_e = f(t)$ pour les premières germinations apparues le 1^{er} avril est de l'ordre de $L = 34$.

On remarquera, en passant, que l'année 1961-1962 n'est pas spécialement mauvaise si on la compare à l'année normale (A.N.) portée sur le même graphique. Ceci montre bien que pour résoudre notre problème il n'est pas possible d'étudier les facteurs climatiques de la cédraie sans se ramener à l'origine de temps que constitue la date d'apparition de la germination.

On peut dire que toute germination bénéficiant d'une espérance pluviothermique inférieure à 34 pour sa première année de croissance est pratiquement condamnée à disparaître du simple fait des conditions clima-

tiques, et pour des conditions de milieu analogues (découvert et sol dolomitique sableux ou limoneux) à celles de nos observations d'Ifrane.

Ces conclusions ne peuvent qu'être renforcées sur sol argileux puisque pour cette même valeur ($L = 34$) les germinations avaient toutes disparu.

Possédant cette valeur limite de contrôle, il suffit maintenant de comparer les divers milieux de la cédraie où nous possédons quelques données météorologiques.

2. Etude de quelques courbes d'espérance pluviothermique

Il nous a paru du plus grand intérêt de comparer d'abord des stations extrêmes telles que Ifrane où la cédraie est jeune et se régénère facilement, et Tiguelmamine (2100 m) où la cédraie est en train de disparaître de la façon la moins discutable (climatogramme 3, 4 et 5 sous pochette).

Nous n'avons pas en notre possession les nombreuses données météorologiques qui pourraient nous permettre de raisonner statistiquement, mais fort heureusement nous avons la chance d'avoir celles de deux années particulièrement caractéristiques : l'année 1959-1960 que nous savons être une bonne année pour la régénération, et l'année 1957-1958 qui en est une visiblement mauvaise du fait de l'apparition tardive des germinations et de la disparition de celles-ci (climatogrammes 3 et 4).

Rappelons que la date d'apparition des premières germinations est déterminée par la date d'apparition des températures maximales moyennes égales à $+10^{\circ}\text{C}$.

On peut constater sur le climatogramme n° 3 qu'à la date d'apparition des germinations pour l'année 1959-1960 à Tiguelmamine on a : $Q_e = 34$. Donc, *dans les meilleures conditions* puisque l'année est bonne, il y a pratiquement impossibilité de régénération et plus particulièrement encore sur l'argile de décalcification comme on le verra plus loin.

Sur les trois années considérées, il n'en est pas une qui permette le maintien des semis. On notera les conditions extrêmes de l'année 1957-1958.

Mais ce qui est également intéressant à noter c'est qu'effectivement, *les conditions climatiques estivales sont moins dures en altitude qu'à Ifrane*. Nous avions soupçonné cette conclusion dans nos travaux antérieurs (LEPOUTRE, PUJOS 1963). Seules les années mauvaises telles que 1957-1958, voient les conditions climatiques des deux stations se rapprocher.

Donc, la mortalité des germinations en altitude n'est pas due dans des cédraies comme celle de Tiguelmamine à la sécheresse plus grande de l'été, ni à une alimentation en eau moins bonne pendant les 6 premiers mois de croissance mais bel et bien à l'apparition très tardive des jeunes plantules.

Certaines années, la mortalité des semis à Ifrane peut être provoquée par la même cause mais le phénomène est, semble-t-il, beaucoup plus rare puisque sur treize années considérées (1945, 48, 49, 50, 51, 52, 55, 58, 59, 60, 61, 62, 63) trois seulement paraissent avoir été défavorables.

Ainsi donc, il apparaît à la lumière de cette première comparaison que les conditions climatiques sont généralement bonnes et compatibles avec la survie des germinations dans leur premier été de croissance à Ifrane, uniquement du fait de l'apparition précoce des plantules.

Par contre, il apparaît avec non moins d'évidence que les conditions climatiques sont parfaitement incompatibles à la régénération à découvert dans la région de Tiguelmamine. *Cette incompatibilité n'est pas provoquée par des étés plus arides qu'à Ifrane (c'est le contraire qui se produit) mais bien par l'apparition excessivement tardive des jeunes plantules.*

L'espérance pluviothermique des premières germinations dans les années les meilleures se trouve être voisine de la valeur critique définie à Ifrane en 1962. Qui s'étonnerait donc encore devant le spectacle des cédraies dépérissantes qui couronnent les massifs montagneux de Tiguelmamine, et où les adultes cadavériques ne sont jamais remplacés par le moindre semis.

Ces deux stations extrêmes de la cédraie étant étudiées, il est facile d'entrevoir maintenant des conditions climatiques intermédiaires comprises entre ces deux limites.

On trouvera par exemple sur le climatogramme n° 6 (sous pochette) les courbes $Q_c = f(t)$ concernant la Station d'Aïn Kahla (Maison forestière). Seules les courbes des années 1951-52, 1952-53 et 1954-55 ont pu être dressées.

La courbe M correspond à la moyenne de toutes les données météorologiques pour les cinq années 1951-1955 (relevés fragmentaires).

On constate qu'en moyenne les conditions climatiques d'Aïn Kahla sont extrêmement limitatives, puisque $Q_c = 36$ au moment de la première germination.

Certaines années peuvent être plus favorables comme 1951-1952 ($Q_c = 49$), mais la période de germination correspondant à une possibilité de survie des germinations est toujours très courte.

Ceci correspond bien aux observations faites sur le terrain depuis 1959 et qui nous avaient fait placer Aïn Kahla parmi les stations de régénération difficile mais non impossible.

Après examen des courbes $Q_e = f(t)$ on peut donc être assuré qu'Aïn Kahla est à la limite des possibilités de régénération de la cédraie, à découvert. La comparaison de l'année 1954-1955 à Aïn Kahla et à Ifrane montre que le régime pluviothermique a été meilleur à partir du mois de mars au moins. La différence essentielle du comportement des semis réside donc dans le fait qu'il y a un mois de décalage au moins dans les dates d'apparition des germinations sur les deux stations. Ceci rend le maintien des germinations impossible à Aïn Kahla avec $Q_e = 25$ pour les premières plantules apparues contre $Q_e = 39$ à Ifrane également pour les premières plantules.

A l'intérieur de la cédraie, nous ne possédons pas d'autres données météorologiques permettant de construire les courbes $Q_e = f(t)$, soit qu'il nous manque les relevés pluviométriques soit, le plus souvent, qu'il nous manque les relevés de températures. Néanmoins, les trois stations précédentes étudiées et comparées permettent de saisir parfaitement le mécanisme d'installation et de maintien de la germination.

Nous avons dit au début de ce travail que l'évaluation de la valeur critique de l'espérance pluviothermique de la germination en 1962 à Ifrane n'était pas tout à fait exacte du fait qu'avec un léger ombrage dû à un effet de versant quelques très rares germinations avaient réussi à se maintenir à découvert.

Puisque le raisonnement porte sur les zones à découvert, il est vraisemblable que la valeur critique L est donc un peu plus élevée. Les conclusions données dans l'étude des courbes $Q_e = f(t)$ doivent donc être légèrement modifiées et rendues plus sévères encore. Une station comme Tiguelmine a donc toutes les chances d'être incompatible avec le maintien des germinations même les années les plus favorables — Aïn Kahla se place à l'extrême limite, sauf année exceptionnelle.

Des observations ultérieures devraient permettre de déterminer avec plus d'exactitude encore la valeur L de la fonction $Q_e = f(t)$. Il serait possible en particulier de préciser cette valeur critique pour différents milieux écologiques ou édaphiques à condition que les observations sur le maintien des semis en été soient très précises. On voit s'inscrire ici dans l'étude climatologique générale la notion de microclimat ou plus généralement de micromilieu édaphique ou botanique.

Jusqu'ici, l'étude concernait en effet les possibilités de maintien des plantules à *découvert* dans les conditions climatiques de la première année de leur croissance et sur sable dolomitique (où la régénération est la plus facile).

Nous faisons donc précisément abstraction des micromilieus, en ne tenant compte que des possibilités de régénération à *découvert*.

Afin de combler cette lacune, à l'aide de nos observations antérieures ou des données précises recueillies dans les archives de la Station de Recherches forestières nous allons donc aborder l'étude de certains milieux édaphiques et microclimatiques.

D. RÔLE DES FACTEURS ÉDAPHIQUES DANS LE CADRE CLIMATIQUE

1. Incidence des réserves hydriques du sol

La méthode de raisonnement utilisée pour la détermination de l'espérance pluviothermique attribuable aux premières germinations à *découvert*, ne tient pas compte des réserves hydriques contenues dans le sol au moment de la germination de la graine de cèdre et il peut sembler y avoir là une lacune préjudiciable à la valeur de nos conclusions. L'étude critique qui suit montre qu'il n'en est rien.

En effet, si nous avons mesuré les réserves hydriques du sol nous aurions été amenés à les exprimer en hauteur d'eau, et il est bien évident que cette quantité s'ajouterait à la pluviométrie P_e qui a servi pour le calcul de l'espérance pluviométrique à chaque mois de la saison. C'est dire que le quotient utilisé est sous-estimé.

Au premier avril 1962, en particulier, la valeur critique de l'espérance sera donc supérieure à $L=34$.

Il en découle que les conditions de régénération à *découvert*, liées au maintien des « germinations » dans leur première année de croissance sont plus difficiles que celles estimées dans nos conclusions. A fortiori celles-ci sont donc encore plus valables.

2. Influence des propriétés physiques du sol

Dans le cours de nos recherches sur le rôle des facteurs édaphiques, nous avons dû faire très rapidement la distinction entre les sols à point

de flétrissement élevé, (c'est-à-dire argileux ou organiques) d'une part, et ceux à point de flétrissement bas (c'est-à-dire sableux et inorganiques) d'autre part. C'est ainsi que nous avons constaté, ou chiffré, l'impossibilité pour la graine de cèdre de germer sur certains sols très organiques, et l'extrême facilité de germination au contraire sur sables dolomitiques.

A la limite des possibilités de régénération (avril 1962 à Ifrane) nous avons retrouvé cette distinction puisque les rares germinations observées l'ont été sur sable. Dans le courant d'années normales, cette constatation avait aussi été faite à Aberbrane, à Ouiouane et à Aïn Kahla, sur banquette avec ensemencement artificiel.

D'autres observations et résultats devaient permettre de détailler l'influence du substratum sur la graine ou la plantule :

a) DANS LES CONDITIONS HYDRIQUES NORMALES (au sens climatologique)

Il est apparu que la graine pouvait germer indépendamment de son contact avec le sol. La jeune radicule n'arrivait cependant pas à s'installer sur certains sols argileux ou organiques. Bien qu'il y ait là une influence des facteurs climatiques au moment de la germination, il faut souligner l'action néfaste des matériaux à point de flétrissement élevé qui retardent la germination et qui vont donc abaisser la valeur de l'espérance pluviothermique.

b) DANS DES CONDITIONS HYDRIQUES FAVORABLES, nous avons constaté dans des cultures en pots, des taux et des vitesses de germination très différents suivant les matériaux utilisés.

Les tableaux ci-après sont très explicites à ce sujet :

Expérimentation I

*Pourcentage de germination de la graine de cèdre
sur deux matériaux du Djebel Tarharat*

Temps en jours	5	7	11	16	17	20	21	23
Rendzine calcaire. Echantillon 385	1	1	8	19	21	23	26	33
Argile de décalcification typique. Echantillon 384	0	0	1	4	4	4	6	19
Echantillon 386	0	0	0	1	1	1	2	7

Expérimentation II

*Pourcentage de germination de la graine de cèdre
sur sable dolomitique et sur limon argileux de bas fond*

Temps en jours	—	7	10	12	20	22	23	26
Limon argileux d'Aberbrane	0	2	2	3	3	3	5	8
Sable dolomitique d'Ifrane	0	4	11	18	28	30	30	32

Analyse granulométrique en p. cent

	A	L	Sf	SG
Rendzine calcaire	18	35,3	40,5	4,25
Argile de décalcification Echantillon 384	35	41,7	21,6	2,6
Echantillon 386	44,6	34,9	22,8	2,4
Limon sableux d'Aber- brane	11,5	9,5	71,7	6,7
Sable dolomitique	0,1	0,7	90,9	7,6

Les deux expériences précédentes n'ont malheureusement pas été faites à la même date, mais compte tenu des arrosages réguliers (tous les 2 jours) nous pouvons constater un décalage dans le déclenchement des germinations de l'ordre d'une quinzaine de jours entre le limon argileux d'Aberbrane et le sable dolomitique d'Ifrane d'une part et entre le sol de rendzine et l'argile dolomitique de décalcification d'autre part. Il est vraisemblable que le désaccord entre le sol de rendzine et le limon d'Aberbrane doit être attribué aux dates différentes d'expérimentation ; (fin août pour l'expérimentation II et octobre pour l'expérimentation I) ce qui a modifié le régime d'évaporation.

Toujours est-il qu'au Tarharat le sol de rendzine est le seul à supporter la régénération. De même le limon d'Aberbrane ne conserve pas ses semis contrairement au sable dolomitique d'Ifrane.

Le décalage moyen de quinze jours sur la date de germination nous permet d'entrevoir l'une des incidences du milieu édaphique sur l'espérance pluviothermique à attribuer aux plantules. Nous savons en effet que *tout facteur retardant la germination de la graine se traduit par une diminution de ses espérances.*

Dans le cas particulier de l'année 1962 à Ifrane il est possible de déterminer la limite critique de l'espérance pluviothermique pour un sol d'argile rouge typique. En effet, pour que les germinations apparues sur ce substratum aient la même espérance que celles apparues sur sable dolomitique ($L = 34$) il aurait fallu qu'elles apparaissent quinze jours plutôt ; en d'autres termes que les conditions thermiques favorables à la germination de la graine soient elles-mêmes apparues quinze jours plus tôt, c'est-à-dire le 15 mars.

Le point de la courbe $Q = f(t)$ (voir climatogramme n° 2, p. 67) correspondant à cette date nous donne la valeur recherchée c'est-à-dire

$$L = 43$$

On voit que les conditions climatiques critiques sont plus sévères sur matériaux argileux que sur matériaux sableux. La différence des espérances pluviothermiques entre les deux matériaux est de :

$$43 - 34 = 9 \text{ points}$$

Cette différence peut paraître faible, elle suffit à détériorer davantage les conditions de survie des plantules en milieu climatique défavorable et nous verrons plus loin combien son influence est importante.

Le résultat doit être généralisé aussi à tous les matériaux susceptibles de retarder la germination et nous pensons en particulier à tous les horizons de surface des sols riches en matière organique comme l'ont montré nos expériences antérieures (LEPOUTRE 1961) sur la germination de la graine cèdre.

Il faut également rappeler les observations faites sur les possibilités de germination de la graine de cèdre et l'implantation de la jeune racine dans les sols recouverts de litière (LEPOUTRE 1961).

On notera que les réserves hydriques du sol n'apportent aucune modification à nos conclusions. Elles sont en effet incluses dans le concept d'espérance pluviothermique attribuée à la plantule puisque toutes les observations de base de notre raisonnement reposent sur le maintien ou la disparition du jeune cèdre. C'est lui et lui seul qui « mesure » et utilise les réserves hydriques du sol (cf. page 73).

PLANCHE I .



Cliché n° 1
(S R I.)

Semis de cèdre âgés de 9 mois sur sol brun basaltique.



Cliché n° 2
(S R I.)

Semis de cèdre âgés de 9 mois sur sable dolomitique.

PLANCHE II



Cliché n° 3
(S.R.F.)

Semis de cèdre âgés de 9 mois sur argile rouge de décalcification très compacte.



Cliché n° 4
(S R F)

Semis de cèdre âgés de 9 mois sur sol rouge argilo-limoneux.

3. Rôle des facteurs chimiques du sol

Il est apparu que les facteurs chimiques du sol ont été parfaitement insuffisants pour amortir les effets climatiques en avril 1962 à Ifrane (1650 m), dans la gamme des sols calcaires ou dolomitiques.

Nous ne rejetons pas pour autant l'étude de leur influence, car nous savons par les observations de terrain et par nos expérimentations antérieures (LEPOUTRE 1961) que certains matériaux sont particulièrement favorables à la régénération. Ce sont les sols basaltiques (sols bruns) et les places à feu.

Nous avons tenté de préciser la place des sols basaltiques dans le cadre climatique que nous connaissons déjà.

Contrairement aux matériaux argileux, les terres basaltiques n'interdisent pas et ne retardent pas la germination de la graine. Celle-ci se produit (au laboratoire tout au moins) dans les mêmes délais que sur les matériaux sableux.

La meilleure croissance des germinations et des semis sur basalte ne peut donc pas être attribuée à une précocité plus grande de l'apparition des plantules. Ceci est bien confirmé sur le terrain d'ailleurs.

Par contre si la plantule, une fois installée, peut croître plus rapidement et si en particulier sa racine peut s'enfoncer plus vite vers la profondeur les chances de survie de la jeune germination s'en verront accrues et la racine pourra échapper à la sécheresse.

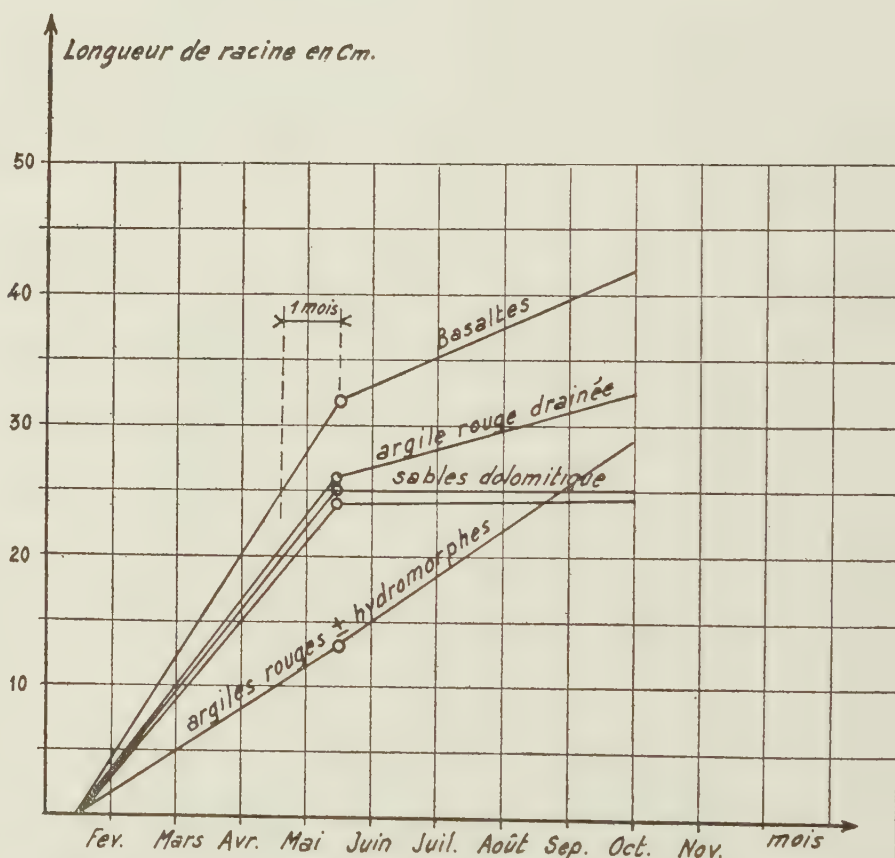
Si donc une racine a atteint juste la longueur suffisante pour échapper aux méfaits de la dessiccation de surface, sur sol dolomitique sableux, en étant apparue en janvier par exemple, par voie de conséquence cette même profondeur d'enracinement étant atteinte plus tôt dans les mêmes conditions en sol basaltique, *les germinations sur sol basaltique pourront apparaître plus tard et posséder néanmoins les mêmes chances de survie.*

Les plantules de jeunes cèdres pouvant alors apparaître plus tard sur sol basaltique il en découle que l'espérance pluviothermique critique sera plus faible que sur sol dolomitique sableux. La connaissance de cette différence de vitesse de croissance de la racine doit nous permettre d'évaluer la limite critique de l'espérance pluviothermique sur sol brun basaltique.

C'est dans ce but que nous avons élevé en pépinière une série de plantules de cèdre sur différents matériaux argileux, dolomitiques et basaltiques.

Graphique N°7

CROISSANCES RADICAIRES DE SEMIS DE
CEDRE SUR DIFFERENTS MATERIAUX
ELEVAGE EN POTS A RABAT



On trouvera les résultats consignés graphiquement (voir graphique n° 7) quelques clichés donneront un aperçu des semis les plus typiques (planches 1 à 3).

On constate qu'effectivement la croissance racinaire est plus importante sur sol basaltique.

D'autre part il est remarquable de voir cette croissance s'arrêter ou presque, sur sable dolomitique à partir du 15 mai (date des mesures). Sur basalte elle est également ralentie ainsi que sur argile.

L'échantillon 3242 a un comportement nettement aberrant mais nous en avons l'explication.

En effet, il s'agit d'un échantillon d'argile rouge qui a été inondé par les arrosages dans le courant des quinze premiers jours d'expérimentation. La terre s'est donc très fortement tassée et nous avons réalisé un milieu asphyxiant.

Ce cas particulier est très intéressant car il nous montre la faible vitesse de croissance des racines dans ce genre de milieu que l'on rencontre souvent en cédraie. On notera qu'après 5 mois de croissance la racine atteint seulement 13 cm, c'est dire que dans les conditions naturelles les semis n'auraient pas résisté (cf. étude sur l'évolution de l'humidité du sol, LEPOUTRE 1961).

Il apparaît donc certain que le semis de cèdre — *comme celui de Mélèze* (DUCHAUFOR 1951) — *exige des sols poreux et aérés.*

Compte tenu que les arrosages se sont poursuivis régulièrement depuis le 15 janvier jusqu'au 15 mai (tous les 2 jours) le rôle de la chaleur d'été (température maximale à Rabat voisine de $+30^{\circ}\text{C}$ en août) et de l'évaporation paraît évident. On peut alors supposer sans risque d'erreur que la croissance racinaire est pratiquement terminée dans la nature à partir de cette date car les pluies cessent alors jusqu'au 10 octobre.

Ceci revient à dire que la profondeur de 25 cm atteinte en moyenne par la racine est probablement une valeur maximum pour la première année de croissance en sol argileux et certainement en sol sableux.

On voit sur le graphique n° 7 que cette valeur est atteinte environ 25 à 30 jours plus tôt sur sols basaltiques.

On peut en déduire qu'au mois de mai, c'est-à-dire à l'arrivée de la sécheresse d'été, les germinations de cèdre ont environ un mois d'avance de croissance sur sol basaltique.

Dans de telles conditions les germinations pourront se produire avec un mois de retard par rapport aux sols dolomitiques avec les mêmes chances de survie.

Il nous suffit alors de reprendre la courbe des espérances pluviothermique moyennes d'Ifrane (climatogr. n° 2, p. 67) et de prendre sur cette courbe le point ayant pour abscisse le 20 avril (soit 27 jours plus tard que la date limite correspondante aux sables dolomitiques) pour obtenir la valeur L , limite critique approchée moyenne des espérances pluviothermiques sur sol basaltique.

Cette valeur est voisine de

$$L = 24$$

On remarquera que les conditions climatiques sont moins sévères que sur sol dolomitique.

4. Conclusion

Il est remarquable de voir ici s'inscrire le facteur sol à l'intérieur du cadre climatique d'une part mais également la relativité de son action, géographiquement et annuellement, d'autre part.

Dans l'ordre de facilité décroissante d'installation des plantules, viennent en tête les sols dolomitiques sableux inorganiques, puis les sols bruns basaltiques, enfin les sols rouges méditerranéens argileux et les sols organiques.

Mais ces propriétés des sols à l'égard des semis ne sont pas conservées en tous lieux. Suivant l'intensité des conditions climatiques et en particulier suivant l'apparition tardive ou précoce des plantules tel matériau pourra devenir impropre à la survie dans le courant du premier été.

Cette subordination des caractères édaphiques aux facteurs climatiques sera établie dans le détail un peu plus loin mais déjà la théorie des espérances pluviothermiques permet d'entrevoir une possibilité fréquente de régénération à découvert sur tous les types de sols en cédraie basse, une possibilité très rare sur les sols sableux dolomitiques et argileux rouges en altitude où seuls les sols sur roche mère basaltique paraissent pouvoir porter des régénérations plus fréquentes.

Localement cette différenciation des types de sols à l'égard des semis pourra apparaître à l'occasion de situations microclimatiques particulières telles que les versants nord froids et sud chauds.

Pour terminer ce chapitre il faut enfin émettre une dernière hypothèse en ce qui concerne les places à feu.

Nous savons qu'il y a dans ce cas une minéralisation de la matière organique et réalisation d'une fumure importante provenant des cendres. Ces avantages sont extrêmement fugaces car le lessivage aura tôt fait d'entraîner les éléments fertilisants solubles. Cependant, étant donné l'importance capitale de la croissance racinaire dans la première année il faut sans doute penser que les conditions de fertilité sont nettement améliorées (DUCHAUFOR 1954).

Cette amélioration passagère peut suffire à provoquer un accroissement racinaire suffisant mais ici encore cette action est nécessairement relative et subordonnée aux conditions climatiques. Elle peut probablement aussi rester inefficace dans certains secteurs géographiques.

Comme on l'a vu en effet, la survie liée à la croissance peut être due soit à un milieu édaphique particulièrement favorable et fertile (sol sur basalte) mais aussi à *une période de végétation préestivale longue*.

Dans de telles conditions une apparition tardive des plantules peut purement et simplement annuler l'effet favorable d'un milieu édaphique fertile.

On ne peut donc pas tabler en tous lieux sur les places à feu et pas davantage sur la plus ou moins grande fertilité des sols.

E. ÉTUDE DE L'ESPÉRANCE PLUVIOTHERMIQUE SOUS LE COUVERT

1. Le couvert du taillis de chêne-vert

a) GÉNÉRALITÉS — CRITIQUE ET VALEUR DES DONNÉES ANTÉRIEUREMENT ACQUISES.

C'est par l'étude du couvert de chêne-vert que nous débiterons, d'abord parce qu'il a toujours revêtu aux yeux du forestier une importance considérable, servant de base aux aménagements de 1940 par exemple, mais

faisant aussi l'objet d'observations nombreuses à l'origine de toutes les interprétations sur le rôle joué par l'ombrage.

Rappelons que ce couvert de chêne-vert accueille facilement les jeunes germinations de cèdre en particulier dans les cédraies basses telles que celles d'Ifrane ou de Mouyougou. Par contre, plus en altitude, le rôle accueillant du chêne-vert devient beaucoup plus rare pour disparaître finalement sur des surfaces qui représentent la plus grande partie de la cédraie.

Le rôle du chêne-vert particulièrement bien étudié par MARION (1955) et la rigueur des observations de cet auteur nous a permis comme on le verra, d'avancer considérablement dans la compréhension de la régénération sous le taillis de chêne-vert.

Il est bon préalablement à notre étude de donner les conclusions généralement admises sur la question.

Ces conclusions sont les suivantes :

1° Le taillis de chêne-vert réalise par son ombrage des conditions microclimatiques favorables au maintien des semis pendant la saison estivale.

2° Cette action passe par un maximum qui correspondrait à un âge déterminé de la cépée.

3° Elle ne débiterait qu'à un stade de développement de la cépée qui correspondrait à un « état de réceptivité » déterminé (MARION 1955).

4° Cette action du chêne-vert est limitée depuis les études de MARION à un certain domaine de la cédraie correspondant à la zone de plus basse altitude.

Avant de poursuivre il convient d'attirer l'attention sur les lacunes que présente cette optique.

En effet il n'a jamais été donné d'explication à la condition 4° et il peut paraître curieux, naturellement, qu'un rôle améliorateur dû à l'ombre en été ne puisse être valable partout.

Pour tenter de supprimer cette lacune on s'est rabattu le plus souvent sur les conditions 2° et 3° invoquant l'état de la cépée. Ceci paraissait logique, mais l'invocation d'un « état de réceptivité » d'ailleurs mal déterminé était-elle compatible avec les données d'ombrages ? si nous pouvons le croire au plus jeune stade de la cépée, cette acceptation devient difficile à un stade plus avancé de développement du taillis :

Combien avons-nous rencontré de cépées de chêne-vert réalisant les conditions d'ombrage apparemment excellentes et qui n'abritaient aucune germination ni aucun semis ? Nous retrouvons d'ailleurs ce point de vue dans les écrits de MARION : « Il y a donc là une énigme : les observations « actuelles ne permettant pas d'affirmer que la régénération du cèdre est « possible sous tous les taillis de chêne-vert des peuplements mélangés « d'altitude (1800 m et plus). C'est un point essentiel sur lequel devront « porter les recherches à venir ; pour l'instant, il ne faudrait peut-être pas « fonder trop d'espairs sur le rôle du taillis dans n'importe quelle situation « géographique ».

Fallait-il alors attribuer un autre rôle au chêne-vert, spécifique cette fois-ci de chaque individu. Il ne faudrait plus alors parler d'ombre (ni d'ailleurs d'action favorable des litières de chêne-vert) c'était pourtant le point de départ du raisonnement.

Nous allons voir que cette impasse s'explique en fait très simplement par une erreur fondamentale de raisonnement au départ. Emprisons-nous de dire que cette erreur, nous l'avions commise nous aussi et qu'elle ne nous est apparue avec évidence qu'à la lumière de l'étude qui va suivre.

b) ESSAI D'ANALYSE DU RÔLE DU CHÊNE-VERT DANS LE CADRE CLIMATIQUE.

Influence du facteur ombrage sur les espérances pluviothermiques.

Si on considère les courbes $Q_e = f(t)$ de l'évolution du quotient d'EMBERGER pour les périodes qui restent à courir depuis une origine quelconque du temps dans l'année jusqu'à la fin de l'année agricole (début octobre pour la « germination » de cèdre) nous constatons que cette courbe décroîtra plus ou moins rapidement, moins en altitude ou en cédraie continentale, davantage en cédraie basse.

Nous avons vu que le recul de la date de germination provoqué par le manque de chaleur paraissait être le facteur fondamental de différenciation des différents types de cédraie ; il se traduit par les valeurs différentes de l'espérance pluviothermique de chaque germination au moment de son apparition.

En fait, l'absence de chaleur post-hivernale est le facteur direct provoquant le retard de la germination de la graine mais on peut prévoir que tout autre facteur aboutissant au même résultat provoquera un abaissement de l'espérance Q_e dont sera créditée la plantule jusqu'à la fin de sa première année de croissance. Inversement, tout facteur susceptible d'avancer la date de germination sera un facteur améliorant du fait que la valeur Q_e s'élèvera.

On notera que pour un même facteur la baisse ou l'élévation de Q_e ne sera pas nécessairement la même dans toutes les zones climatiques d'une part, et suivant les années d'autre part, puisqu'elles vont dépendre de la forme de la courbe $Q_e = f(t)$ propre à la zone climatique ou particulière à l'année considérée.

Or, nous savons par les observations de terrain que la germination dans la zone climatique particulièrement chaude d'Ifrane est retardée d'un mois et demi environ à l'ombre par rapport au soleil.

La germination sous taillis de chêne-vert n'échappe pas à cette règle.

On peut donc dire que l'ombrage du taillis de chêne-vert qui retarde la date de germination de la graine de cèdre d'un mois et demi, joue initialement un rôle défavorable abaissant les valeurs Q_e attribuables aux premières plantules qui voient le jour sous le couvert, et ceci par rapport aux stations situées hors-couvert.

Pour plus de commodité, dans la suite de l'exposé, si Q_1 est l'espérance pluviothermique attribuable aux premières germinations hors-couvert, et Q_2 l'espérance donnée par la courbe $Q_e = f(t)$ un mois et demi après, c'est-à-dire à la date d'apparition des premières germinations sous le chêne-vert, nous pouvons écrire :

$$Q_1 - Q_2 = x$$

Si nous nous limitons à ces conditions, l'ombrage serait évidemment très défavorable et *uniquement défavorable* (baisse de Q_e) ce qui est incomplet car dans le courant de l'été, le couvert va avoir, nécessairement, une influence sur les températures maximales et les températures minimales, influence que nous nous devons d'ailleurs de considérer comme améliorante puisque la nature nous montre les germinations et les semis blottis sous les chênes-verts, dans de nombreuses stations où ils ne peuvent visiblement pas résister ailleurs.

On doit donc admettre que le couvert du chêne-vert améliore les conditions climatiques estivales. Par voie de conséquence, l'espérance pluviothermique attribuable à la première germination qui apparaît sous le couvert ne sera pas Q_2 , mais Q_3 supérieur à Q_2 .

De la même façon que précédemment et pour les mêmes raisons nous poserons :

$$Q_3 - Q_2 = \Delta Q$$

Finalement nous pouvons donc dissocier l'action globale du couvert du chêne-vert en deux actions successives :

— l'une initiale défavorable du fait du retard apporté à la date de germination ;

— l'autre favorable par une amélioration des conditions micro-climatiques estivales.

L'espérance pluviothermique sous le couvert du taillis de chêne-vert peut alors s'écrire :

$$Q_{cv} = Q_d - X + \Delta Q$$

où Q_d = espérance pluviothermique à découvert et au même moment

X = baisse de l'espérance due au retard de germination

ΔQ = élévation de l'espérance due à l'abaissement des températures maximales.

c) DÉTERMINATION DE ΔQ , RÔLE AMÉLIORANT DU COUVERT DE CHÊNE-VERT.

Mise en équation.

Reprenons la formule de notre espérance pluviothermique. Soit M_{cv} et m_{cv} les températures maximales du mois le plus chaud et minimales du mois le plus froid sous le couvert.

De la même façon si Q_d est l'espérance pluviothermique au même moment à découvert avec ses températures M_d maximales du mois le plus chaud et m_d minimales du mois le plus froid,

On aura

$$\text{sous le couvert : } Q_{cv} = \frac{100 P_e}{M_{cv}^2 - m_{cv}^2}$$

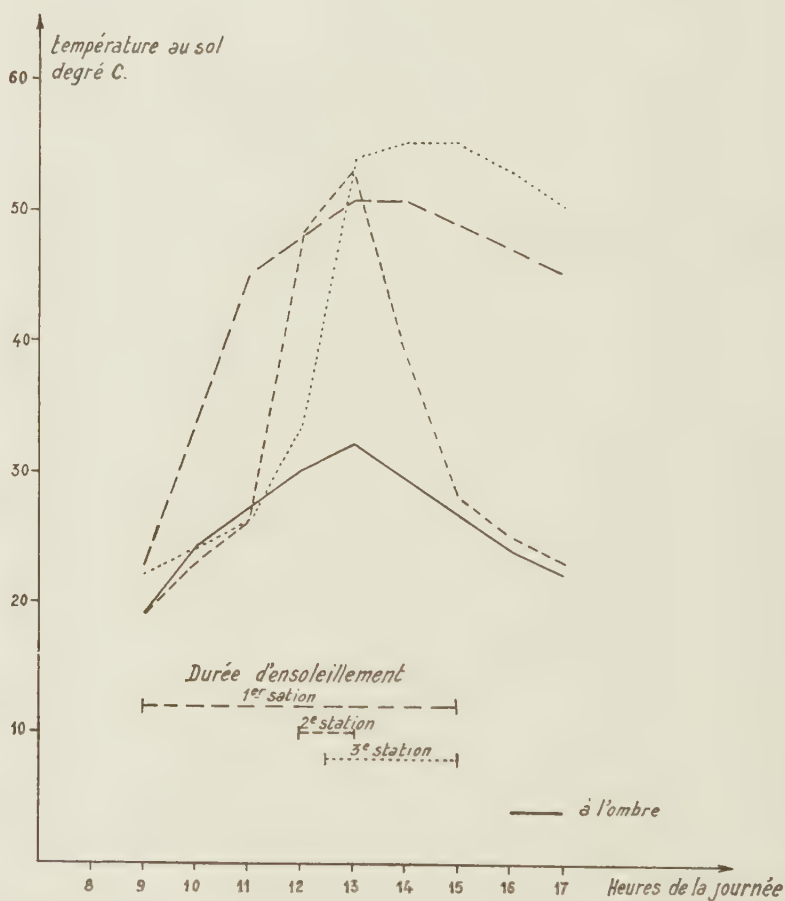
$$\text{à découvert : } Q_d = \frac{100 P_e}{M_d^2 - m_d^2}$$

$$\text{et } \Delta Q = \frac{100 P_e}{M_{cv}^2 - m_{cv}^2} - \frac{100 P_e}{M_d^2 - m_d^2}$$

en supposant que l'espérance pluviométrique P_e reste inchangée.

Graphique N°8

VARIATION DE LA TEMPERATURE A L'OMBRE ET AU
SOLEIL, SUR QUATRE STATIONS A KISSARIT LE
31-7-60



Dans cette expression de ΔQ nous pouvons supposer que dans le premier terme les valeurs M_{cv} et m_{cv} sont sensiblement les mêmes que celles relevées sous abri et des travaux récents de l'Institut scientifique chérifien l'ont montré.

On peut donc connaître le premier terme de l'expression.

L'espérance pluviométrique P_e est connue.

Il reste à évaluer les valeurs de M_d et m_d .

Détermination de M_d

Pour ce faire, nous avons effectué un certain nombre de mesures au mois d'août en cédraie à Kissarit pour fixer les températures sous le couvert d'un taillis de chêne-vert en comparaison avec les températures prises à découvert. Le mois d'août a été choisi car c'est généralement sa température maximale moyenne qui sert dans la détermination de l'espérance pluviothermique.

Ces mesures sont consignées graphiquement (graphique n° 8) en voici le dépouillement :

*Comparaison des températures (en degrés centigrades)
prises sous le couvert et à découvert (août 1961)*

M_{cv}	32	31	30	27	25
M_d	53	51	48	45	40

Nous pouvons donc fixer M_d pour chaque valeur de M_{cv} qui nous intéresse.

Détermination de m_d

Celle-ci n'a pas été faite de façon précise mais nous savons que le couvert élève les températures maximales (action réchauffante du couvert) on a donc toujours :

$$m_d < m_{cv}$$

D'autre part on sait que « la végétation protège moins bien contre le refroidissement nocturne que contre l'échauffement pendant le jour » (FOURNIER D'ALBE 1958). Certains auteurs admettent même « que la

valeur de l'indice d'évaporation est voisine de M^2 dans les régions méditerranéennes ».

Pouvons-nous donc négliger m_d ? Ceci reviendrait à prendre pour ΔQ l'expression :

$$\frac{100 P_e}{M_{cv}^2 - m_{cv}^2} - \frac{100 P_e}{M_d^2} \quad (2)$$

qui serait évaluée alors *par excès*.

Les températures maximales moyennes du mois le plus chaud s'échelonnant en cédraie entre $+25^\circ\text{C}$ et $+32^\circ\text{C}$ d'une part et les températures minimales moyennes observées au moment de la germination étant comprises entre -5°C et $+10^\circ\text{C}$ nous avons calculé l'erreur de l'approximation envisagée :

Erreur d'évaluation de ΔQ :

Température minimale	Température maximale	Erreur relative
10°	32°	3,8 %
	28°	4,5 %
5°	32°	0,9 %
	28°	1,1 %

On voit que cette erreur est très acceptable ; elle n'augmente d'ailleurs que lorsque les températures maximales diminuent mais il est rare que ces températures maximales descendent en dessous de $+28^\circ\text{C}$.

Si donc avec la valeur de ΔQ estimée par la formule (2) nous trouvons des impossibilités à l'action favorable du chêne-vert nous pouvons conclure à fortiori à une impossibilité réelle de cette action pour la station et l'année considérée.

Vérification de l'évaluation du rôle améliorant du couvert de chêne-vert ΔQ

Le calcul des valeurs approchées de ΔQ permet une vérification pour l'année 1944-1945. En effet, cette année a été particulièrement sèche et année-là à Ifrane et à Kissarit.

nous possédons des données très sûres sur les installations des semis cette

MARION (1955) cite à ce sujet : « Durant l'année agricole 1944-1945, « année parmi les plus sèches qu'ait connues le Maroc depuis 40 ans, les « semis nés au printemps 44... ont subsisté en nombre appréciable... sous « les cépées étudiées à Ifrane et Kissarit ».

Pour cette année-là on est donc sûr que l'espérance pluviothermique attribuable aux semis est supérieure à la limite critique L établie précédemment (voir climatogramme n° 2, p. 67).

Par ailleurs étant donné la sécheresse exceptionnelle et la faible décroissance de la courbe d'espérance il est vraisemblable que nous sommes à la limite de l'action favorable du couvert.

Avec une espérance pluviométrique de 180 mm et une température $M = +30^{\circ}\text{C}$, l'évaluation de ΔQ nous donne par le calcul :

$$Q_e = 13 \text{ à Ifrane}$$

Les observations de MARION faites sur un versant légèrement exposé au nord-est nous font supposer que la valeur M sous abri est sans doute inférieure à 30°C au lieu de l'observation.

En prenant $M = +27^{\circ}\text{C}$ on a alors

$$Q_e = 16$$

On s'apercevra que l'évaluation graphique (climatogramme n° 2) donne pour ΔQ la valeur :

$$Q_e = 15$$

Les trois valeurs sont suffisamment voisines pour que l'évaluation faite soit satisfaisante dans la gamme d'erreur que nous avons définie.

d) RÉSUMÉ : CONSTRUCTION DE LA COURBE D'ESPÉRANCE PLUVIOTHERMIQUE SOUS COUVERT DU TAILLIS DE CHÊNE-VERT.

En résumé la construction de cette courbe se fera donc de la façon suivante :

A partir de la courbe d'espérance pluviothermique établie à découvert et sur laquelle on notera la date d'apparition de la première germination (déterminée par l'apparition de la température maximale de $+10^{\circ}\text{C}$) on descendra cette courbe jusqu'au point correspondant à un mois et demi plus tard. On aura ainsi matérialisé le rôle défavorable de l'ombrage.

Ensuite, il suffira d'ajouter à l'ordonnée, de ce nouveau point la valeur ΔQ calculée avec la formule (2) pour obtenir l'espérance pluviothermique des premières germinations apparaissant sous le couvert du chêne-vert.

On remarquera que la courbe annuelle de l'espérance pluviothermique sous couvert s'obtiendra de toutes façons à partir de la courbe des espérances pluviothermiques à découvert en augmentant l'ordonnée de tous les points de la valeur ΔQ calculée.

On possédera alors la courbe d'espérance sous le couvert d'une part et la date d'apparition des premières germinations d'autre part, c'est-à-dire tous les éléments qui nous intéressent.

e) ETUDE DE QUELQUES COURBES D'ESPÉRANCE PLUVIOTHERMIQUE SOUS LE COUVERT DU TAILLIS DE CHÊNE-VERT.

— *Ifrane année météorologique moyenne* (climatogramme n° 9 sous pochette).

Les premières germinations sous chêne-vert apparaissent le 15 mars avec une espérance pluviothermique de 63.

Que le sol soit sableux ou argileux on voit que les semis peuvent se maintenir jusqu'à la fin de l'été.

Dans la réalité, les faits viennent bien confirmer notre résultat car c'est à Ifrane ou en cédraie basse que la régénération du cèdre à l'abri des cépées de chêne-vert est bien la plus fréquente.

— *Tiguelmamine 1959-60* (climatogramme n° 10 sous pochette).

C'est une bonne année mais les germinations sous chêne-vert ne peuvent apparaître qu'à la mi-mai avec une espérance pluviothermique de 36.

Ici donc il y aura très peu de chances pour que les germinations apparues sous chêne-vert puissent subsister. Les toutes premières auront quelques chances très minimes sur sable dolomitique. Par contre sur sol rouge de décalcification une impossibilité apparaît puisque nous nous trouvons dans des conditions climatiques de croissance plus mauvaises que celles observées en 1962 à Ifrane où l'échec s'est révélé.

— *Tiguelmamine 1954-55* (climatogramme n° 11 sous pochette).

C'est une année où la germination a été encore plus tardive. Les premières germinations apparaissant sous le couvert du taillis bénéficient d'une

espérance pluviothermique de 25. Il y a donc impossibilité d'action du chêne-vert quel que soit le type de sol.

— *Tiguelmamine* 1957-58.

Cette année est citée pour mémoire avec une impossibilité totale de régénération.

— *Aïn-Kahla année météorologique normale* (climatogramme n° 12 sous pochette).

On peut constater que les premières germinations apparues sous chêne-vert bénéficient d'une espérance pluviothermique de 46.

Compte tenu de la date d'apparition de ces premières germinations qui est fixée à quinze jours près (la courbe est construite avec un point mensuel porté le 1^{er} du mois) on voit que la probabilité de survie d'une plantule venue sur argile est extrêmement faible, par contre elle est beaucoup plus grande sur sable dolomitique.

Dans la réalité nous constatons un effet du couvert de chêne-vert *uniquement sur sable dolomitique*.

f) CONCLUSIONS SUR L'ACTION TOTALE DU COUVERT DE CHÊNE-VERT.

Ainsi, nous retrouvons une correspondance exacte entre la présence ou l'absence de germinations sous le couvert du taillis et l'existence à la date d'apparition de ces germinations d'une espérance pluviothermique respectivement au-dessus et au-dessous des limites déterminées à Ifrane en 1962 sur les 2 types de sol principaux : rendzine magnésienne sableuse et sol rouge méditerranéen argileux (les deux types décapés).

On peut donc affirmer que dans les conditions les plus optimistes le couvert du taillis de chêne-vert est inefficace à Tiguelmamine 2100 m d'altitude, rarement favorable à Aïn Kahla (2000 m) et presque toujours favorable à Ifrane (1650 m).

L'altitude n'est pas étrangère à cette différence d'action. Rappelons à ce sujet les observations de MARION (1955) également les nôtres montrant les couverts de taillis colonisés par les semis *venus de l'extérieur* (LEPOUTRE 1963). Rappelons le caractère général de la régénération en zone d'altitude où les semis sont toujours *en plein découvert* et également la répartition d'une cédraie plus jeune sur les versants sud des crêtes d'altitude alors qu'elle se trouve le plus souvent sur les versants nord en zone plus basse (PUJOS 1963).

Tous ces faits sont en pleine concordance avec notre théorie de l'espérance pluviothermique montrant la grande facilité de régénération là où les germinations trouvent la chaleur nécessaire à une apparition précoce, bénéficient d'une période de croissance plus longue avant l'arrivée de la sécheresse estivale et sont finalement mieux préparées à supporter le premier été.

Nous découvrons ici le mécanisme exact du fonctionnement de l'ombrage des taillis de chêne-vert, et de l'ombrage en général comme on le verra plus loin. Cette action existe bien et il n'y a aucune raison de penser qu'elle puisse disparaître dans d'autres conditions de milieu. L'ombre existe et existera toujours sauf intervention de la hache du bûcheron bien entendu. L'erreur commise jusqu'à présent était de ne pas s'être rendu à l'évidence des limites de possibilité de cette action, en particulier dans des secteurs climatiques difficiles.

N'envisageant pas cette limite d'action, on a été obligé d'invoquer d'autres raisons, très imprécises d'ailleurs comme l'état de réceptivité de la cépée.

Obligés maintenant d'accepter cette limite d'action du chêne-vert, les choses rentrent dans l'ordre d'elles-mêmes mais avec cette conclusion nouvelle et capitale :

Là où le chêne-vert ne paraît pas jouer de rôle par son ombrage, (à moins qu'il ne s'agisse d'une toute jeune cépée), il ne faut pas s'attendre à le voir intervenir un jour (cédraies d'altitudes).

Inversement là où le chêne-vert accueille très souvent les semis de cèdre (cédraie basse d'Ifrane, de Mouyougou ou encore de Kissarit) on pourra toujours tabler sur cet auxiliaire de la régénération.

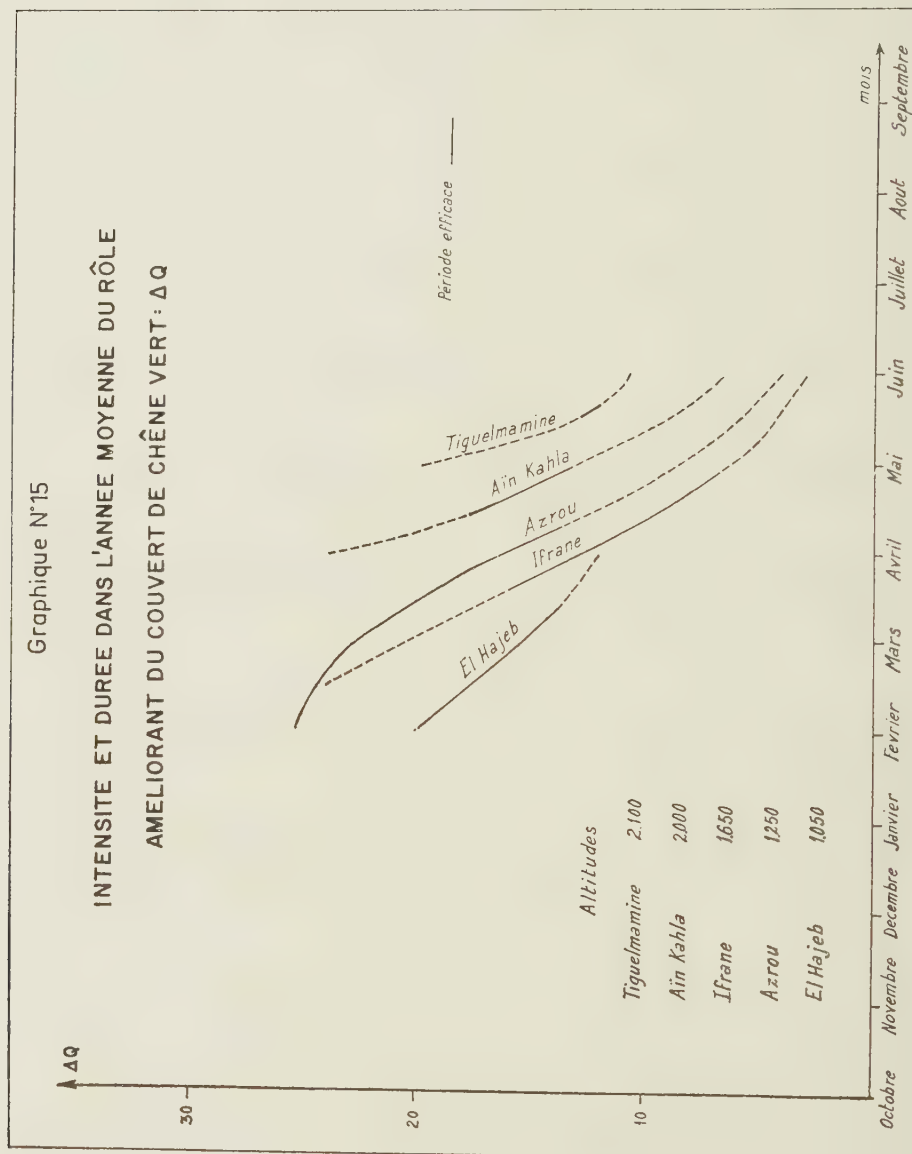
g) VARIATION DU RÔLE AMÉLIORANT DU COUVERT.

— *Variation dans le temps.*

Reprenons le climatogramme n° 9 (sous pochette).

Nous constatons que la différence d'ordonnée entre les points de même abscisse de chaque courbe, celle qui représente effectivement ΔQ dans le courant de l'année à chaque mois considéré, va en décroissant.

Donc l'action améliorante du couvert est de plus en plus faible au fur et à mesure que la saison s'avance.



— *Variation dans l'espace.*

Il nous faut pour cela reconsidérer les climatogrammes des diverses stations étudiées (climat. n^{os} 10, 11, 12, 13, 14, sous pochette).

Il est évident que la valeur ΔQ va varier suivant la forme de la courbe mais, surtout, son efficacité sera limitée à la période comprise entre la date d'apparition d'une plantule et celle correspondant au point où la courbe des espérances pluviothermiques sous le couvert (courbe pleine) coupera la droite d'ordonnée L pour le type de sol considéré.

Cette durée dépendra donc du substratum d'une part mais aussi de la date d'apparition des plantules d'autre part.

Le rôle du couvert dépendra finalement de la zone climatique en général et de l'altitude en particulier.

Nous avons reporté sur le graphique n^o 15 les variations et la durée d'action favorable du couvert de taillis de chêne-vert pour les années météorologiques normales de diverses stations, (Aïn Kahla 5 années, Tiguelmamine l'année favorable 1959-60) et pour les sols sableux dolomitiques.

On y voit très nettement apparaître les variations de durée et d'intensité dont nous venons de parler. En particulier il faut noter la durée d'action beaucoup plus longue à Ifrane et généralement en zone altitudinale basse. Or c'est bien dans cette zone que l'action du chêne-vert revêt un caractère presque général.

En altitude au contraire cette durée se raccourcit terriblement (Aïn Kahla) et s'annule finalement au-dessus de 2000 m. La théorie est parfaitement confirmée par les observations de terrain qui montrent l'absence totale de régénération sous le couvert en altitude ou en zone climatique froide.

Ces durées sont données respectivement dans le tableau suivant :

Durée de l'action efficace du couvert ΔQ des taillis chêne-vert sur sable dolomitique

Stations	El Hajeb	Azrou	Ifrane	A. Kahla	Tiguel.
Altitude	1050	1250	1650	2000	2100
Durée en jours	42	69	39	15	3

La durée la plus longue pendant laquelle les germinations risquent de trouver un appoint suffisant d'ombrage sous le chêne-vert paraît donc présenter son maximum à basse altitude (1250 m environ).

2. Les autres couverts

a) LES COUVERTS DE LA FUTAIE.

L'étude qui vient d'être faite concernait le couvert des taillis de chêne-vert. La cépée de chêne-vert, constituant un couvert bas et régulier, nous avait permis de l'assimiler à un abri météorologique et de ce fait nos approximations étaient justifiées sans entacher les résultats d'une erreur trop importante.

En ce qui concerne les couverts plus élevés il n'est plus possible d'opérer de la même façon. En effet l'ombre retarde bien toujours l'apparition de la germination mais nous ne pouvons plus connaître sans mesure précise l'action favorable exercée par le couvert sur les températures maximales et en fait sur l'évaporation d'été. On rappellera entre autres facteurs variables que des couverts hauts n'assurent pas toujours un ombrage continu dans le courant de la journée.

Il est vraisemblable que dans l'expression de l'espérance pluviothermique sous le couvert :

$$Q_{cv} = Q_d - X + \Delta Q$$

L'action des différents facteurs reste la même mais avec une intensité pour ΔQ que l'on ignore et qui est sans doute moindre.

On peut dire tout simplement que l'action des hauts couverts, tels que ceux de la futaie, est identique à celle des taillis de chêne-vert en ce qui concerne son rôle néfaste, c'est-à-dire dans les zones climatiques où « X » diminution de l'espérance pluviothermique correspondant au décalage des dates d'apparition des germinations sera trop grand et ne pourra être compensé par ΔQ rôle améliorant du couvert.

C'est donc seulement dans le cas d'une futaie dense assurant un couvert presque total et continu dans le temps qu'il sera possible de tirer les mêmes conclusions que celles fournies par l'étude de la cépée de chêne-vert.

On voit apparaître ici le rôle néfaste des couverts denses tel qu'il est apparu de longue date dans la pratique forestière. Notre étude apporte

maintenant un élément nouveau extrêmement important pour la sylviculture du cèdre et peut-être aussi pour d'autres essences : la relativité de cette action néfaste dans le cadre climatique :

forte en zone froide

faible à nulle en zone tempérée.

Nous verrons plus loin à développer ces enseignements nouveaux dans la pratique sylvicole proprement dite.

b) LES COUVERTS A FEUILLES CADUQUES.

Nous avons peu de renseignements sur le rôle des caducifoliées mais quelques observations viennent confirmer l'exactitude de notre théorie des espérances pluviothermiques.

Ces observations se situent essentiellement à Tadgaline (altitude 1900 m). Nous conseillons ici le lecteur de se reporter à l'étude de la régénération par tache qui a été publiée (LEPOUTRE 1963).

Là, la régénération qui s'installe sous le chêne-vert n'est pas en liaison directe avec l'ombrage, mais *résulte de l'extension de taches de semis situés en découvert*. Seuls, les couverts des jeunes érables (*Acer monspesulanum*) ou des aubépines (*Crataegus monogina*) semblent véritablement accueillir les plantules de cèdre. Dans les deux cas il s'agit d'un abri bas.

Cette observation nous avait paru extrêmement curieuse et nous avions pensé l'expliquer tout d'abord par la présence de mycorrhizes. L'action du bétail devait être rejetée car la mise en défens de la parcelle était efficace.

Malheureusement nous n'avons pas trouvé de mycorrhize sur les systèmes racinaires de ces « hôtes ».

Reprenons maintenant l'expression de l'espérance pluviothermique sous le couvert :

$$Q_{\text{couvert}} = Q_{\text{découvert}} - X + \Delta Q \quad (1)$$

L'aubépine comme l'érable est une caducifoliée qui perd ses feuilles en hiver et ne les remet que tardivement au printemps. Au moment où les conditions climatiques sont favorables à la germination de la graine de cèdre en tous cas, l'aubépine est défeuillée.

Il n'y a donc pas de décalage entre les dates de germination sous le couvert de l'aubépine ou de l'érable.

La formule (1) devient donc

$$Q_{\text{aubépine}} = Q_{\text{découvert}} + \Delta Q$$

Ultérieurement l'aubépine met ses feuilles et va réaliser un ombrage identique à celui du couvert d'un taillis de chêne-vert. On voit donc que *l'espérance pluviothermique sous le couvert du feuillu sera toujours supérieure à celle du découvert.*

Cette amélioration de l'espérance pluviothermique sera particulièrement visible dans des zones climatiques froides où l'espérance pluviothermique à découvert est souvent au voisinage de la limite critique. Or nous sommes à 1900 m, précisément dans les conditions que nous venons de préciser. PUJOS (1963) lui aussi, définit d'ailleurs botaniquement cette station comme étant à la limite des cédraies d'altitude et des cédraies plus tempérées.

Nous n'avons malheureusement pas les données météorologiques qui nous auraient permis de vérifier davantage notre théorie. Néanmoins on peut déjà dire que *là où le couvert de chêne-vert reste inefficace mais où l'aubépine (ou le jeune érable) accueille les semis de cèdre, les conditions climatiques sont à la limite des possibilités de régénération du cèdre.*

Une dernière observation paraît encore confirmer cette conclusion. En effet, il est remarquable que les régénérations de cèdre observées dans la parcelle d'expérience de Tadgaline sont situées essentiellement *sur sable dolomitique* (rendzines magnésiennes) et absentes sur argile. Or nous savons déjà que l'espérance pluviothermique est toujours supérieure sur le sable c'est donc là qu'on trouvera la régénération lorsque les conditions climatiques seront le plus souvent défavorables.

L'aubépine se comporte donc comme un taillis de chêne-vert qui ne retarderait pas l'apparition des plantules de cèdre, où la germination pourrait être hâtive et où la protection contre la sécheresse estivale améliore nécessairement les chances de survie des semis de cèdre.

Quoi de plus naturel de trouver alors des taches de semis sous ce type particulier d'ombrage.

Il est donc certain que le couvert de l'aubépine est considérablement plus profitable que celui du chêne-vert en zone d'altitude. On ne saurait

trop conseiller son extension en climat froid où elle est d'ailleurs parfaitement adaptée. Cette conclusion n'exclut pas la relativité du facteur ombrage dans le cadre climatique et il est concevable qu'à une altitude plus grande ou dans des conditions particulièrement froides le couvert de l'aubépine devienne lui aussi inefficace.

En corollaire de ceci, il faut enfin admettre maintenant que l'inefficacité du couvert des cépées de chêne-vert en altitude est une conséquence du micro-climat ou du climat et non une conséquence de l'état de la cépée comme il avait été supposé (MARION 1955).

En particulier en futaie mixte où le taillis de chêne-vert est dominé, les vieilles cépées n'ont sans doute pas crû, non par le fait de la présence de la futaie de cèdre, mais plus vraisemblable en raison de la rigueur du climat (froid d'hiver). Dans tous les cas ce n'est pas là l'origine de leur inefficacité à l'égard de la régénération du cèdre.

F. CARACTÉRISTIQUES CLIMATIQUES DES RÉGÉNÉRATIONS DE LISIÈRE ET LEUR INTERPRÉTATION BIOCLIMATIQUE

1. Les conditions bioclimatiques

Les régénérations de lisières bien caractérisées ont soulevé depuis longtemps pour le cèdre, comme pour d'autres essences, le problème de la détermination des conditions écologiques qui président à leur installation.

Nous avons déjà parlé de ce type de régénération dans l'interprétation du rôle joué par les mycorrhizes et certains auteurs (MIKOLA 1958) ont été jusqu'à rendre ce dernier facteur biologique responsable.

Il ne fait vraisemblablement pas de doute que les lisières constituent un milieu très favorable au développement des mycorrhizes, sur des largeurs pouvant atteindre jusqu'à 70 m.

Cependant d'autres travaux (PRIGNON 1960) orientés vers l'étude des facteurs écologiques non biologiques et en particulier ceux du micro-climat ne peuvent laisser de doute sur le rôle également important joué par l'ombre, les précipitations et la température.

Les précisions que nous apporte l'étude des espérances pluviothermiques nous ont donc incité à traduire le micro-climat correspondant aux régénérations de lisières dans le cas du cèdre.

Les conditions de ce micro-climat sont au moins les suivantes :

1° absence de régénération sous le couvert

$$\text{donc : } Q - X + \Delta Q < L$$

2° présence de régénération à découvert

$$\text{donc : } \boxed{Q > L}$$

finalement on doit avoir :

$$\boxed{Q > L} \quad (1)$$

$$\text{et } Q - X + \Delta Q < L < Q$$

$$\text{ou } \boxed{\Delta Q < X} \quad (2)$$

où

Q est l'espérance pluviothermique à découvert

$Q_{cv} = Q - X + \Delta Q$ est l'espérance pluviothermique sous le couvert

X est la moins-value des espérances pluviothermiques due au retard de germination sous le couvert

ΔQ est la plus-value d'espérance pluviothermique apportée par l'ombrage

L est l'espérance pluviothermique critique du substratum considéré.

a) ESPÉRANCE PLUVIOTHERMIQUE A DÉCOUVERT SUPÉRIEURE A LA LIMITE ÉDAPHO-PLUVIOTHERMIQUE.

$$\boxed{Q > L}$$

Cette condition dépend de l'année climatique (Q) et du sol (L), elle est d'autant plus facilement réalisée sur basalte, elle l'est moins sur sable et encore moins sur argile.

Les belles lisières sont effectivement sur basalte (Djbel Hebri, Michlifen) et sur sable. Elles sont plus rares sur argile.

PLANCHE III

Cliché n° 5
(S.R.F.)



Versant nord du Djbel Hébri : magnifique lisière en bordure du peuplement et dans la station la plus froide du massif.

Cliché n° 6
(S.R.F.)



Versant sud du Djbel Hébri : on notera l'absence de lisière mais, au contraire du versant nord, on aperçoit les flèches du jeune perchis qui dominent déjà le couvert du chêne-vert où les semis se sont installés.

b) RÔLE DU COUVERT NÉGATIF.

$$\Delta Q - X < 0$$

Cette condition dépend du micro-climat (ΔQ) mais aussi de l'année climatique (X). Elle peut s'écrire :

$$\Delta Q < X$$

C'est-à-dire que le retard apporté à la germination au moment de son installation entraîne une diminution des espérances pluviothermiques supérieure à la plus value des mêmes espérances, apportée par le couvert. En d'autres termes l'ombre est néfaste.

Cette condition sera d'autant plus facilement remplie que ΔQ sera petit et X sera grand.

Or nous savons que ΔQ est d'autant plus petit que les températures maximales sont faibles. C'est donc vers les altitudes élevées ou dans des micro-climats froids. Par ailleurs ΔQ diminue au fur et à mesure que la saison sèche s'approche. C'est donc encore dans les zones froides où la germination est tardive que le rôle améliorant du couvert sera plus faible.

Quant à X , il est probable que sa valeur sera d'autant plus grande que le micro-climat sera froid.

Les régénérations de lisière doivent donc se produire dans les micro-climats froids de basse ou moyenne altitude et plus généralement en haute altitude.

Les observations de terrain confirment parfaitement cette conclusion théorique. Par ailleurs si les facteurs que nous faisons intervenir sont pondérants et principalement responsables du micro-climat, nous ne devons jamais avoir de régénération sous ombrage, et en particulier sous le taillis de chêne-vert lorsque la lisière est présente. Inversement le phénomène de lisière doit disparaître quand l'ombrage joue son rôle.

Il se trouve que la démonstration est éclatante sur le terrain. Nous pouvons prendre comme exemple le Djebel Hebri (1900 m) où nous constatons les faits suivants :

Sur les versants nord-est, nord, nord-ouest, où les basses températures persistent très tard dans l'année : présence d'une régénération de lisière

magnifique et continue. *Parallèlement, dans le vieux peuplement le semis ne s'installe nulle part, pas plus sous le haut couvert du cèdre que sous le bas couvert des taillis de chêne-vert.*

Sur le versant sud, sud-ouest et ouest au contraire, où la chaleur est précoce, la lisière disparaît totalement et, *parallèlement, la régénération s'installe dans le chêne-vert en profitant de l'ombrage de ce dernier.*

Enfin sur le versant nord-ouest, à l'occasion de coupes d'éclaircies sévères dans la futaie de cèdres, on constate l'implantation de nombreux semis à découvert dans les éclaircies ainsi réalisées.

Tout ceci est parfaitement conforme avec nos hypothèses.

Nous pouvons de plus souligner que la régénération de lisière est bien située effectivement sur le versant où X a plus de chance d'être supérieur à ΔQ . C'est-à-dire sur le versant nord le plus froid. C'est en effet là que l'apparition des germinations est la plus tardive.

Un autre exemple bien net est également celui que l'on trouvera sur les versants du cratère du Michlifén. Là aussi les régénérations de lisières sont situées sur le versant nord et nord-est les plus froids. A chaque fois le couvert quel qu'il soit se révèle inefficace et les rares semis installés dans la cédraie même, le sont toujours dans les vides.

On pourrait multiplier les exemples en citant le Djebel Habri, l'arête dolomitique sud de la route qui va du Tizi-N'Tretten au Michlifén, les cédraies au sud de la clairière d'Aïn Kahla, tous les volcans entre le Djebel Hebri et Timhadit, la cédraie de bordure sud de l'Affenourir, la cédraie de Boujirt etc.

Cette concordance rigoureuse entre les faits et la théorie prouve la validité de cette dernière qui fait intervenir essentiellement les facteurs climatiques et édaphiques.

— Voyons alors le rôle de ces facteurs.

2. Rôle des facteurs édaphiques

Il nous paraît indispensable d'attirer l'attention sur le rôle des facteurs édaphiques. En effet, le terme X qui traduit le retard apporté à l'implantation des « germinations » peut être accru dans des conditions de microclimat telles que les versants nord ou les couverts denses mais également



Cliché n° 7
(S.R.F.)

Les deux lisières caractéristiques du versant nord du Michlifen. L'une naine, à croissance limitée par le gel (Pujos) : quelques taches sur le cliché en limite de clairière. L'autre plus développée mais située à la bordure inférieure, la plus froide, du peuplement.

par des conditions propres au sol. On sait que l'argile retarde l'implantation des jeunes cèdres. Par ailleurs des litières importantes et des horizons organiques épais jouent le même rôle. Il y a là un facteur néfaste supplémentaire, lié lui aussi au couvert. On retrouve donc bien le rôle important des points de flétrissement élevés des horizons de surface, rôle que nous avons déjà entrevu dans notre premier travail (LEPOUTRE 1961). Il faut sans doute aussi placer ici le rôle néfaste des extraits solubles de litière qui bloquent ou retardent la germination (LEPOUTRE 1961).

Enfin ne perdons pas de vue la première condition pour l'établissement des régénérations de lisières :

$$Q > L$$

Là aussi le facteur édaphique domine en atténuant (basalte et sable) ou en renforçant (argile) le rôle des facteurs climatiques suivant que L est moins grand ou plus grand. Le décapage de la même façon améliorera les conditions d'installation de lisière puisqu'il abaissera la valeur L .

3. Rôle des facteurs climatiques

Alors que L est une donnée fixe en une station déterminée, Q dépend essentiellement du climat. La régénération de lisière implique donc une année climatique qui permet le maintien des semis à découvert. Ceci correspond à la condition :

$$Q > L$$

Mais comme nous l'avons dit les lisières apparaîtront d'autant plus facilement que le retard apporté à l'apparition des plantules sera grand.

Les stations écologiques correspondantes seront donc les versants nord ou généralement froids.

Géographiquement la condition $\Delta Q < X$ sera sans doute d'autant plus facilement remplie que la courbe des espérances pluviothermiques sera plus redressée sur l'axe des abscisses.

Il paraît donc difficile de pronostiquer la fréquence des régénérations de lisière dans les différentes zones climatiques puisque en zone d'altitude les froids tardifs sont fréquents ($X > \Delta Q$) mais les années climatiques où $Q > L$ sont rares.

Inversement en cédraie plus tempérée les froids tardifs sont moins fréquents mais par contre les années climatiques où Q est supérieur à L sont plus nombreuses.

En cédraie vraiment basse les froids tardifs sont rares et la régénération de lisières ne peut plus s'installer que dans des stations micro-climatiques particulièrement froides.

C'est bien semble-t-il la fréquence des froids tardifs qui répartit finalement les régénérations de lisière : rares en cédraie basse, uniquement en stations froides (versants nord) pour la cédraie tempérée et indifféremment, sur versants nord ou sud, en cédraie d'altitude où les froids tardifs sont sans doute aussi fréquents.

Il est remarquable de constater que le phénomène de lisière est effectivement très net dans des cédraies proches du front atlantique en stations froides et plus rares en cédraie continentale sauf dans des secteurs comme ceux du Sénoual où la pluviométrie est importante.

En dernier lieu on peut constater que les deux conditions établies plus haut peuvent être traduites par l'inégalité

$$L < Q < L + (X - \Delta Q)$$

Le terme $(X - \Delta Q)$ est toujours très faible ou négatif (Tiguelmamine) ce qui montre que l'espérance pluviothermique des germinations de lisière est toujours comprise dans des limites très étroites. Ceci revient à dire *que la période pendant laquelle les germinations ont quelques chances de constituer une régénération de lisière est toujours très courte*, et d'autant plus courte que l'on s'élève en altitude ou vers des secteurs moins pluvieux.

En cédraie d'altitude on constate que des régénérations de lisières se sont produites deux fois dans le courant du dernier siècle. On remarquera aussi *que la longueur de cette période est indépendante du substratum*. Ce dernier ne peut intervenir que pour permettre des conditions de régénération à découvert dans des secteurs climatiques difficiles (froids tardifs). C'est le cas en particulier des sols sur basalte ou sur dolomie en altitude, pour lesquels L est faible.

Avant de terminer l'étude des lisières il convient de rappeler le rôle possible de la mycorrhization. Celle-ci on le sait rend le semis plus résistant à la sécheresse. Dans ces conditions et dans le cadre de l'étude des espé-

rances pluviothermiques la mycorrhize jouera alors son rôle au même titre que les matériaux édaphiques. Cette plus grande résistance à la sécheresse se traduira sur un sol déterminé par l'abaissement de la valeur limite L propre au sol. La mycorrhization des semis élargira donc le secteur climatique où le phénomène de régénération de lisière est possible puisqu'on doit toujours avoir :

$$Q > L$$

En conclusion, on peut entrevoir maintenant la multiplicité des conditions écologiques déterminant l'installation d'une régénération de lisière mais aussi le caractère sporadique et l'extrême sensibilité de cette dernière aux facteurs climatiques et édaphiques.

On s'explique très bien la présence de régénération de lisière sur les versants les moins chauds où le froid persiste plus tardivement, ainsi que leur localisation géographique dans des secteurs climatiques froids entre ceux dont le caractère continental est trop accusé et ceux pour lesquels l'ombrage est favorable.

On ne s'étonne pas moins de constater la disparition d'une régénération de lisière lorsqu'on passe d'un matériau favorable à la régénération (basalte ou dolomie) à un autre plus défavorable (dolomie ou argile), le caractère du sol s'imprimant dans le contexte climatique et pouvant différencier en une même station le comportement de la régénération.

Nous avons résumé les données écologiques propres aux régénérations de lisière dans le graphique n° 16 ci-après.

Les aires hachurées correspondent à chaque matériau et sont délimitées par les deux droites :

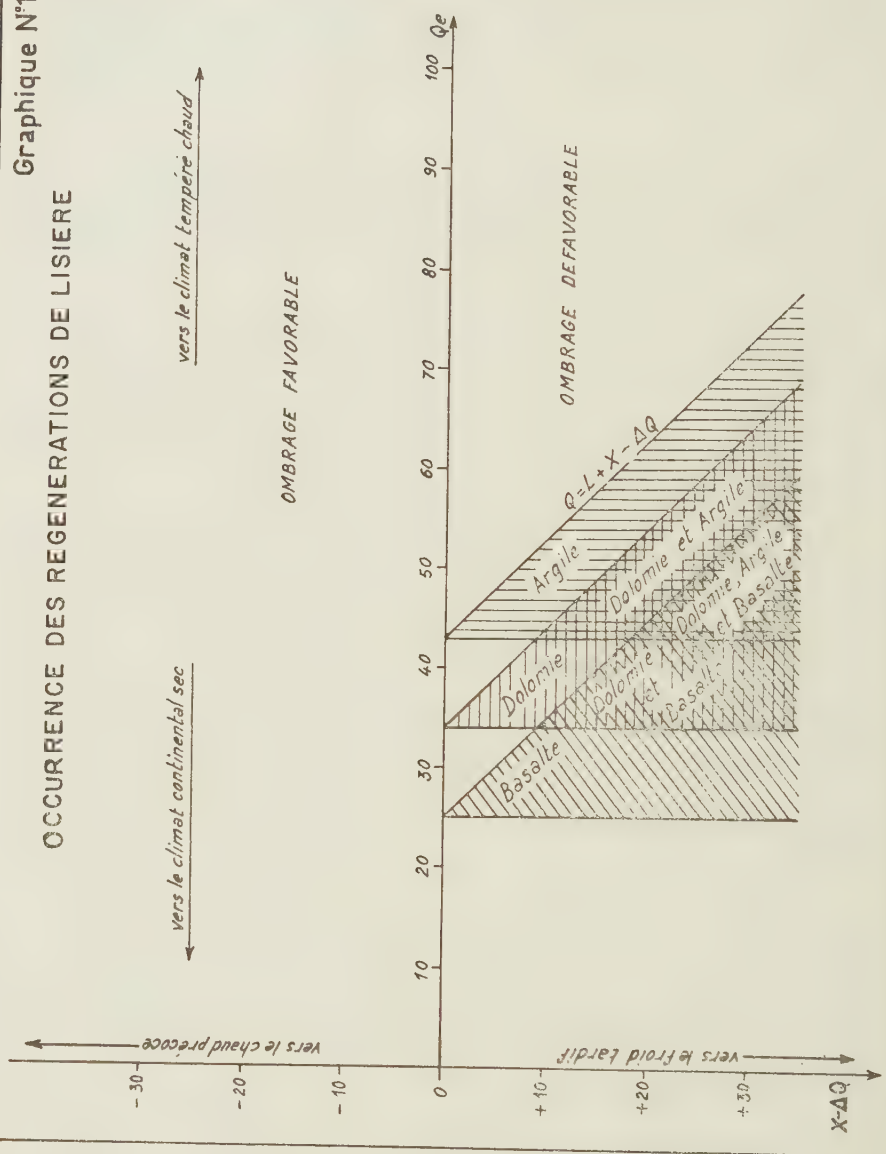
$$\begin{array}{ll} Q = L & \text{influence du substratum} \\ \text{et} & \\ Q = L + X - \Delta Q & \text{influence du climat} \end{array}$$

On y constatera la plus grande plasticité de ce type de régénération lorsque l'on se trouve dans des secteurs où le froid est plus tardif ($X - \Delta Q$ est grand) ou lorsque les précipitations décroissent rapidement dans le temps.

On voit également les trois matériaux basalte, dolomie et argile se différencier pour les valeurs de $X - \Delta Q$ ce qui correspond à l'apparition de chaleur plus précoce mais aussi à des climats moins pluvieux comme nous l'avons vu (courbe $Q = f(t)$ peu inclinée sur l'axe des abscisses).

Graphique N°16

OCCURRENCE DES RÉGÉNÉRATIONS DE LISIÈRE



Pour des stations où *le froid est très tardif* il pourra y avoir régénération de lisière sur plusieurs matériaux à la fois si la pluviosité est suffisante (*Q* élevé). Ceci est rare au Moyen Atlas parce que précisément les deux facteurs : froid tardif et espérances pluviothermiques faibles vont souvent de paire.

En résumé nous pouvons dresser le tableau suivant :

*Conditions édapho-pluvio-thermiques
nécessaires à la régénération de lisière
sur divers matériaux*

	25	34	43	52	Q_e
0	Absence	Basalte	Dolomie sableuse	Argile	Absence
9			Dolomie sableuse ou basalte et dolomie	Argile seule ou dolomie sableuse et argile	
18			Dolomie et basalte	Dolomie et argile ou dolomie, argile et basalte	Argile seule ou dolomie et argile
28				Dolomie, argile et basalte	Argile ou dolomie ou argile, dolomie et basalte
$X-\Delta Q$					

Nota. — Les conditions de ce tableau sont nécessaires mais non suffisantes car d'autres facteurs comme la fertilité des adultes peuvent intervenir et il est vraisemblable que les fréquences des régénérations de lisière doivent s'en trouver fortement diminuées en altitude. Ces données pluvio-thermiques pourront néanmoins être très utiles pour caractériser climatiquement des milieux, suivant la présence ou l'absence de régénération de lisière.

CHAPITRE II

**SYNTHÈSE DES MÉCANISMES CLIMATO-ÉCOLOGIQUES
DANS LA RÉGÉNÉRATION DU CÈDRE****A. À DÉCOUVERT****1. Récapitulation et comparaison des divers secteurs climatiques de la cédraie actuelle**

Pour faire cette comparaison il nous a paru indispensable de reprendre la théorie des espérances pluviothermiques pour les années météorologiques moyennes (ou années météorologiques normales).

En effet les données moyennes traduisent la plus grande probabilité de réunir les conditions climatiques considérées. Par voie de conséquence les chances de survie de nos plantules de cèdre ainsi définies seront les plus probables pour chaque station, et nous pouvons comparer ces probabilités.

Nous n'avons malheureusement pas toujours les données météorologiques suffisantes et dans ce cas les données fragmentaires ont été groupées (Aïn Kahla). Dans le cas de Tiguelmamine l'année 1959-1960 a été choisie car c'est une des meilleures années que nous connaissions dans la régénération du cèdre.

Les courbes d'espérances pluviothermiques pour les années normales sont reportées sur le climatogramme n° 17 (sous pochette).

Sur ce climatogramme ont été inscrites les limites pluviothermiques critiques L, établies pour les sables dolomitiques et pour l'argile que nous appellerons limites édaphopluviothermiques. Celle des sols basaltiques n'a pas été portée car son évaluation est moins précise. Nous en parlerons à la fin de ce chapitre.

Ces données permettent, avec la date d'apparition des températures maximales mensuelles moyennes de $+10^{\circ}\text{C}$ de fixer les durées les plus probables pendant lesquelles toute germination apparue à une chance de survie supérieure à celle enregistrée à Ifrane en avril 1962.

En deçà de cette durée il y a peu de chance — ou moins de chance de voir apparaître la germination ; au-delà les espérances pluviothermiques deviennent insuffisantes.

Avant de commenter les résultats deux points sont encore à préciser.

— D'abord, nous avons à définir la station de Bédoin. Il ne s'agit pas d'une station du Moyen Atlas marocain mais du poste météorologique situé juste en-dessous de la cédraie du Mont Ventoux en France où l'introduction du cèdre (provenance d'Algérie) a particulièrement bien réussi et où la régénération est extraordinairement facile entre 700 et 1100 m d'altitude.

— Par ailleurs il faut attirer l'attention sur le fait que les courbes d'espérances pluviothermiques ont été construites avec un seul point mensuel qui a été porté au 1^{er} du mois. Comme la température moyenne de +10°C qui détermine l'apparition des plantules peut très bien correspondre à la première ou à la dernière quinzaine plus chaude, la date d'apparition des plantules n'est donc pas le premier du mois, mais sans doute plus tard.

Il en résulte sur les durées une erreur par excès. Nous l'avons rappelée sur le graphique sans l'appliquer.

Nos conclusions sont donc certainement trop optimistes, d'une quinzaine de jours probablement.

2. Commentaire

a) LES DURÉES DES PÉRIODES DE GERMINATION POSSIBLE ET FAVORABLES A LA SURVIE DES PLANTULES DE CÈDRE dans leur première année de croissance sont visiblement très différentes à trois points de vue.

1° *Par leur longueur.*

On constate la plus grande chance d'avoir des germinations de bonne venue à Ifrane et à Bédoin où les plantules apparues respectivement fin mars et début mai ont encore leurs chances de passer l'été sur les sols sableux. Les dates limites sur argile rouge de décalcification ne dépassent pas par contre le 10-15 mars.

On remarquera l'identité des conditions de durée de cette période à Ifrane et Bédoin malgré une pluviosité annuelle beaucoup plus faible sur le Ventoux comparativement à notre cédraie basse.

Quelques courbes d'espérances pluviothermiques sur ces deux stations sont données en annexe (voir document XXIII sous pochette).

2° *Par la place de cette durée dans l'année.*

Une station comme Aïn Kahla (2000 m) voit la période favorable à une germination commencer début mars et finir début avril sur sable alors qu'en cédraie basse (Ifrane) sur le même type de sol cette période se présente souvent au début de février et se termine vers le 25 mars.

3° *Suivant l'influence du milieu édaphique.*

On voit très bien ici se différencier les différents types de sols, l'argile réduisant considérablement la durée la plus probable pendant laquelle les germinations apparues ont des chances de survie.

Cette conclusion doit être étendue aux milieux édaphiques organiques (sols vierges à l'opposé des sols décapés (non organiques).

b) ESSAIS DE COMPARAISONS AVEC LES ÉTAGES BIOCLIMATIQUES D'EMBERGER.

Il nous a paru intéressant de comparer l'espérance pluviothermique pour la période qui reste à s'écouler jusqu'à la fin de l'année avec des quotients pluviothermiques d'EMBERGER définissant les étages bioclimatiques.

Les étages humides, subhumides, subarides et arides ont donc été inscrits sur les courbes d'espérances pluviothermiques (climatogramme n° 17 sous pochette).

Il y a, bien sûr, équivalence des valeurs comparées mais on n'oubliera pas que l'indice d'EMBERGER caractérise toute une année tandis que l'espérance pluviothermique n'en caractérise qu'une partie. Néanmoins à valeur égale d'indice et d'espérance on peut dire que le semis de cèdre croîtra dans une période caractérisée climatiquement de façon identique.

C'est ainsi qu'une germination apparue le 1^{er} février à Ifrane aura une période de croissance, jusqu'à octobre, caractérisée par une espérance équivalente à un indice d'étage bioclimatique subhumide.

De la même façon une germination apparue le premier avril à Bédoin se trouvera dans les mêmes conditions de croissance que celles caractérisant l'étage bioclimatique semi-aride.

Cette comparaison est très intéressante car elle permet de comprendre l'adaptation du cèdre à des climats pouvant surprendre. En particulier il ne paraît plus étonnant de trouver quelques rares cèdres perdus dans des peuplements dominants d'Alfa comme il y en a sur le versant Moulouyen du Haut Atlas.

On peut également de cette façon différencier des stations telles que Bédoin et Ifrane.

La courbe d'espérance pluviothermique étant plus inclinée sur l'axe des abscisses à Bédoin l'apparition des conditions successivement semi-arides puis arides en sera d'autant plus retardée. La date du 15 avril correspond par exemple à des conditions climatiques de la période ultérieure de croissance végétale respectivement arides à Ifrane et semi-arides à Bédoin.

3. Extrapolation à la limite de la cédraie basse et sous la cédraie actuelle

Ayant la preuve de la facilité de régénération en cédraie basse à la fois par les observations de terrains et par l'enseignement que nous apporte la théorie de l'espérance pluviothermique, il devient du plus grand intérêt de déterminer les conditions climatiques dans les régions altitudinales situées immédiatement sous la cédraie.

En effet si la cédraie est en voie de disparition en altitude on peut se demander s'il ne serait pas possible d'étendre les boisements dans les zones de basse altitude où le cèdre n'existe pas.

a) ETUDE DES COURBES D'ESPÉRANCES PLUVIOTHERMIQUES EN BASSE ALTITUDE.

Ces courbes sont tracées sur le climatogramme n° 18 (sous pochette).

L'allure des deux courbes Ifrane (1650 m) et El Hajeb (1050 m) semblent immédiatement présenter une certaine analogie. L'observation plus détaillée des valeurs ci-dessous montre en effet une relation très curieuse :

Espérances pluviothermiques comparées à Ifrane et El Hajeb à un même moment de l'année

Mois	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S
Ifrane	120	105	89	71	59	48	31	20	11	7	6	5
El Hajeb	57	51	43	35	30	23	16	9	5	3	2	2
Rapport	2,10	2,06	2,07	2,02	1,98	2,08	1,94	2,21	2,20	2,30	3,00	2,50

Les espérances pluviothermiques à Ifrane sont donc exactement le double de celles d'El Hajeb au même moment de l'année.

Nous trouvons là un résultat qui correspond à la variation d'altitude sur le front atlantique du Moyen Atlas. Cette relation simple est-elle étroitement liée à l'altitude ? C'est la question que nous nous sommes posée et pour lui apporter une réponse définitive nous avons recherché les espérances pluviothermiques d'Azrou (1250 m) station située altitudinalement entre El Hajeb et Ifrane.

La relation constante entre les espérances pluviothermiques à El Hajeb et Azrou s'est vérifiée.

Les valeurs sont les suivantes :

*Espérances pluviothermiques
comparées à El Hajeb (1050 m) et Azrou (1250 m)
à un même moment de l'année*

Mois	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S
Azrou	81	72	61	49	41	33	24	14	8	6	5	5
El Hajeb	57	51	43	35	30	23	16	9	5	3	2	2
Rapport	1,42	1,41	1,42	1,40	1,37	1,43	1,50	1,55	1,60	2,00	2,50	2,50

Compte tenu que l'erreur est sans doute très forte pour les mois de fin d'été quand l'espérance pluviothermique est faible on voit que la relation se confirme pour la période allant jusqu'à avril.

On peut donc dire que *l'espérance pluviothermique est étroitement dépendante de l'altitude.*

C'est ce que nous montre l'abaque n° 19 (sous pochette) où nous avons représenté les espérances pluviothermiques d'Ifrane et d'Azrou en fonction des espérances d'El Hajeb au même moment.

b) ABaque CLIMATO-ÉCOLOGIQUE DU CÈDRE.

Tous les points mensuels de chaque station sont bien alignés suivant une droite et chaque droite possède une pente qui est fonction de l'altitude.

Cette pente a pour valeur :

$$\text{Pente} = \frac{Q \text{ espérance pluviothermique de la Station}}{Q_1 \text{ espérance pluviothermique d'El Hajeb}}$$

Il est alors possible sur cette nouvelle abaque de porter en abscisse les mois correspondant à l'occurrence d'une espérance pluviothermique déterminée à El Hajeb.

A ce stade de notre étude, nous réunissons déjà les facteurs écologiques suivants :

espérances pluviothermiques
altitude
temps.

Il devient facile d'y reporter d'autres facteurs :

— *Facteurs édaphiques*

Il suffit de tracer pour chacun d'eux des droites horizontales ayant pour ordonnées les limites critiques édapho-pluviothermiques L . Pour chaque station il faut que la germination apparaisse avec une espérance pluviothermique supérieure à L (voir p. 69). Les zones de l'abaque situées sous les droites

$$Q_e = L$$

sont donc à rejeter : les germinations ne peuvent survivre.

— *Facteurs biologiques : Ensemencement.*

Nous savons que l'ensemencement ne peut se faire avant le 15 novembre (date la plus précoce de nos observations). Comme de toutes façons les graines tombées au sol ne peuvent s'implanter qu'après 7 jours sur sable ou basalte et 22 jours après sur argile ; il faut donc tracer deux droites parallèles à l'axe des ordonnées et ayant pour abscisses ces dates respectives pour chaque matériau considéré. Nous obtenons une nouvelle limite de l'abaque en deçà de laquelle aucun semis ne peut s'implanter.

— *Facteurs thermiques : Germination.*

Les températures moyennes maximales supérieures à $+10^\circ\text{C}$ déclenchent seules les germinations. Il faut donc construire une courbe isothermique de $+10^\circ\text{C}$.

A chaque point mensuel de la droite d'espérance pluviothermique de la station étudiée nous affecterons donc les températures moyennes maxi-

males. L'isotherme se trace facilement et limite les stations et les moments de l'année où la germination de la graine de cèdre ne peut pas se faire.

Il reste une aire hachurée qui réunit tous les facteurs écologiques étudiés en liaison avec la germination : la date d'apparition des plantules, le sol, les conditions climatiques déterminant les chances de survie des plantules c'est-à-dire l'espérance pluviothermique et enfin l'altitude.

c) COMMENTAIRE DE L'ABAQUE CLIMATO-ÉCOLOGIQUE.

Nous avons réalisé une véritable synthèse du milieu et l'abaque ainsi construite va nous fournir maintenant toutes les données relatives aux possibilités d'installation des semis de cèdre en basse altitude.

Que se passe-t-il en effet lorsque l'on va quitter les zones altitudinales actuelles du cèdre à Ifrane et que nous allons descendre ?

Les droites correspondantes aux diverses altitudes vont se coucher progressivement sur l'axe des abscisses et les données écologiques vont changer.

Il faut remarquer préalablement que la durée la plus fréquente des périodes de germinations compatibles avec la survie des plantules est, pour une station déterminée, la portion de la droite représentative de cette station limitée par son intersection d'une part avec l'une des droite $Q = L$ limite édapho-pluviothermique et d'autre part avec la droite limite biologique déterminant l'ensemencement ou la limite thermique.

C'est finalement la portion de droite comprise dans l'aire hachurée de l'abaque.

Lorsque nous descendons en altitude à partir d'Ifrane on voit cette durée augmenter légèrement puis passer par un maximum brutal pour la droite tangente à l'isotherme $+10^{\circ}\text{C}$, décroître ensuite progressivement et s'annuler finalement.

En termes de régénération on peut donc dire que les possibilités d'installation et de survie des plantules vont croître, passer par un maximum pour une altitude inférieure à celle d'Ifrane et supérieure à celle d'Azrou, puis vont décroître plus ou moins rapidement vers les altitudes basses.

Notons tout de suite que cette conclusion est remarquablement conforme avec le comportement de la cédraie qui de toute évidence (PUJOS 1963) descend vers les climats plus chauds.

D'autres auteurs le confirment également. SALVADOR écrit déjà en 1926 « sa place est certainement à côté du genre Pin ». BASBOUT (1954) cite le cèdre comme « associé aux chênes spécialement ceux de climat tempéré. »

Au Liban BOUVAREL (1950) note « l'absence de cèdre sur les versants est » précisément ceux que nous savons maintenant être trop froids.

Nous rejoignons également DE PHILIPPIS qui aboutit à la conclusion suivante concernant l'étude bioclimatique : « un système basé sur la température, comme celui de Pavari et qui tiendrait compte aussi de certaines valeurs des précipitations serait celui qui conviendrait le mieux à la définition climatique des formations forestières au moins en Italie.

« Dans une synthèse de ce genre, les limites de basses températures correspondent à un état de déficience thermique pour les espèces caractéristiques de chaque zone.

« Le passage de ces espèces dans une zone plus froide est par conséquent *exceptionnel*. Mais le passage dans une zone plus chaude est *fréquent* lorsque les conditions d'humidité sont favorables ».

Enfin, il nous semble à peine nécessaire maintenant de rappeler la facilité de régénération du cèdre dans des climats parfois moins pluvieux que le Moyen Atlas comme le climat provençal, dans la région du Ventoux, du Lubéron, ou moins chauds comme la vallée du Rhône ou la Côte d'Or.

Dans la région d'Avignon en particulier, il faut citer comme exemple les régénérations au *pied du Ventoux* mais aussi et surtout la petite cédraie du village de Cabrières d'Avignon à côté de Carpentras que nous avons eu l'occasion de visiter avec le conservateur des Eaux et Forêts, MAURY de la conservation d'Avignon. Nous sommes là à très basse altitude (168 m) avec une pluviométrie de 650 mm environ et des températures maximales moyennes des mois les plus chauds de 30°C. On y observe des régénérations magnifiques et extraordinairement faciles, car elles peuvent s'installer en février.

Enfin cette adaptation du cèdre à basse altitude et la lente descente de la cédraie trouve encore sa vérification au Maroc dans le Rif (PUJOS 1964) mais également sur le versant Moulouyen du Moyen Atlas à Arbabou Imlil où les dépôts quaternaires de bas de pente sont couverts d'une jeune cédraie très vigoureuse qui s'est installée *après la coupe du chêne-vert* en plein découvert là où les températures de +10°C sont les plus précoces.

Il faut remarquer que sur cette station le changement climatique est très brutal vers le climat semi-aride et aride de la vallée de la Moulouya. On passe donc très rapidement de l'altitude au climat froid impropre à la régénération, vers le climat trop sec, également incompatible avec la survie des jeunes plantules. On s'explique donc bien l'étroitesse de la frange de régénération mais il est remarquable de constater cette descente sur le versant moyen atlasique *le plus sec*, contrairement au versant atlantique *le plus humide*.

Il ne s'agit donc pas seulement de l'incidence des pluviosités élevées ou basses mais bien de la précocité des chaleurs printanières liées à l'altitude.

Le facteur thermique est donc bien dominant dans la régénération du cèdre et il est la cause d'un déplacement de la cédraie vers les altitudes basses.

Nous trouvons là une preuve remarquable de la théorie des espérances pluviothermiques qui nous a montré graphiquement cette tendance de la régénération du cèdre à descendre.

4. Influence de l'altitude sur la durée des périodes de germination compatibles avec la survie des jeunes plantules

a) ÉTABLISSEMENT DES COURBES.

L'influence de l'altitude que nous venons d'entrevoir dans l'interprétation de l'abaque climato-écologique n° 19 (sous pochette) prend une importance considérable et se trouve parfaitement vérifiée par les faits.

Il nous est possible maintenant de la chiffrer.

En effet, pour chaque station considérée nous possédons, grâce à l'abaque, l'altitude d'une part et la durée de la période de germination la plus fréquente (données météorologiques moyennes) et compatibles avec la survie des plantules d'autre part. Il est donc possible de dresser les courbes représentatives de cette durée en fonction de l'altitude.

On se reportera au graphique n° 20 (sous pochette).

— *Sur le front atlantique.*

Détermination de l'altitude.

Dans la partie haute du graphique nous trouverons en ordonnées les rapports Q/Q_0 de l'espérance pluviothermique de la station considérée sur

PLANCHE V



Cliché n° 8
(S.R.F.)

Un aspect de la cédraie d'altitude en versant nord : de vieux arbres et de larges clairières où on notera la présence de deux rares semis en plein découvert.



Cliché n° 9
(S.R.F.)

Vigueur et jeunesse de la cédraie de basse altitude (1700 m). Noter la densité du perchis.

l'espérance pluviothermique d'El Hajeb. Ce rapport détermine la pente de la droite correspondante à la station, donc l'altitude.

Toutes les altitudes seront ainsi déterminées d'El Hajeb (1050 m) jusqu'à Ifrane (1650 m), sur le front atlantique du Moyen Atlas.

Détermination des périodes de germination compatibles avec la survie.

Ces durées sont chiffrées en jours sur l'abaque climato-écologique n° 19 (sous pochette) et reportées en ordonnée sur la partie basse du graphique n° 20 (sous pochette).

Erreur.

Pour les raisons que nous avons données plus haut (voir p. 109) nous savons que les durées évaluées sont certainement entachées d'une erreur par excès de l'ordre d'une quinzaine de jours. Cette erreur est portée sur le graphique.

— *Sur le Causse.*

Les diverses stations étudiées en cédraie ont été ajoutées sur le même graphique n° 20. Leurs altitudes sont fixées directement tandis que les durées de la période de germination compatible avec la survie des plantules est donnée par le graphique n° 17.

b) COMMENTAIRE.

1° Variation de la durée avec l'altitude dans la cédraie actuelle.

Pour un même type de sol on voit cette durée augmenter depuis les zones de la basse cédraie (Ifrane 1650 m). Pour une année météorologique normale les chances de survie sont donc bien les plus grandes à basse altitude à Ifrane où parallèlement la régénération est très vigoureuse.

On remarquera également que les conditions climatiques sont aussi favorables sur basalte à 1850 m que sur sable dolomitique à 1650 m. Nous voyons apparaître ici l'influence du sol dans le cadre climacique et nous nous expliquons la présence d'une magnifique cédraie se régénérant facilement au Seheb (basalte 1900 m). La cédraie sur dolomie d'Ifrane débutant en fait à 1700 m on retrouvera les mêmes conditions de survie des plantules de cèdre jusqu'à 1950 m environ sur basalte.

Par ailleurs il faut aussi constater qu'à 2000 m (station d'Aïn Kahla) la régénération n'est pratiquement possible que sur sable (ou basalte) alors qu'elle est très improbable sur argile de décalcification.

Les observations faites sur cette station sont en pleine concordance avec la théorie. Des ensemencements artificiels effectués sur banquettes en 1961 à Aïn Kahla l'ont encore mieux vérifié.

Enfin, au-delà de 2000 m seuls les basaltes et à un degré beaucoup moindre les sables peuvent supporter de la régénération mais un faible écart des données météorologiques annuelles par rapport à la moyenne, feront disparaître ces chances car la longueur de nos durées favorables à la survie décroissent très rapidement.

Ici encore ces conclusions sont celles que l'on peut vérifier sur le terrain où pratiquement seuls les sols sur matériaux volcaniques portent de la régénération et où celle-ci est extrêmement sporadique.

Pour terminer ce commentaire dans la cédraie actuelle il faut finalement noter que les meilleures conditions de survie des plantules se trouvent sur basalte à faible altitude. On s'en convaincra à la vue de la cédraie de Boujriat sur la route d'Ifrane-Azrou où la futaie dense de cèdre fait penser aux plus beaux et plus réguliers peuplements d'épicéas ou de sapins d'Europe.

2° Variation de la durée avec l'altitude hors cédraie en descendant le front atlantique.

En partant d'Ifrane vers des altitudes inférieures, la durée la plus probable de la période de germination favorable à la survie de la plantule de cèdre continue d'abord à s'accroître jusqu'à 1550 m où elle passe par un maximum. Plus bas, cette durée diminue rapidement puis après un palier qui semble se poursuivre jusqu'à 1250 m, elle décroît très vite pour s'annuler théoriquement vers 1100 m sur argile de décalcification et vers 1000 m sur sable dolomitique.

On peut donc dire que les conditions les plus favorables à la survie des plantules se situent à 1550 m d'altitude. Quoi d'étonnant alors, à voir les magnifiques régénérations de la forêt d'Ifrane (1650 m).

Cet optimum des conditions favorables est cependant très influencé par le milieu édaphique puisque notre durée sur basalte est supérieure au double de celle que nous constatons sur argile de décalcification.

En ce qui concerne le palier Azrou-Aïn Leuh entre 1250 m et 1450 m nous devons être un peu moins affirmatifs car les données météorologiques d'Aïn Leuh sont fractionnaires. Néanmoins à ces altitudes on peut très bien voir l'incidence du sol sur les chances de survie.

Les durées propices à la germination et compatibles avec leur survie sont respectivement de 35 jours sur argile de décalcification et 78 sur sable dolomitique soit une différence du simple à plus du double.

La moindre variation dans les conditions climatiques saisonnières, en particulier dans la date d'apparition des températures maximales de $+10^{\circ}\text{C}$ provoquera une accentuation de cet écart. Un mois de retard dans cette apparition (même, et en particulier, avec une pluviométrie identique) entraînera l'échec sur argile et la réussite possible sur sable dolomitique.

Nous devons rappeler ici que la différence des limites édapho-pluviothermiques entre argile et sable n'est que de neuf points (d'indice d'EMBERGER). Cette différence nous était apparue très faible (voir p. 76). Elle a cependant des conséquences considérables, comme nous venons de le montrer, quand elle est associée au retard d'apparition des premières germinations.

Cette différence de comportement des types de sols à l'égard de la régénération peut déjà être observée à Ifrane où la cédraie s'arrête parfois à la limite des sables dolomitiques et des argiles de décalcification (limite de la cédraie à droite de la route Ifrane-Tizi N'Tretten). Encore mieux nous pouvons constater la présence de semis sur un simple revêtement de sables dolomitiques (quelques centimètres sur un limon argileux) au manège du palais royal d'Ifrane, alors que l'absence de cette couverture élimine les semis.

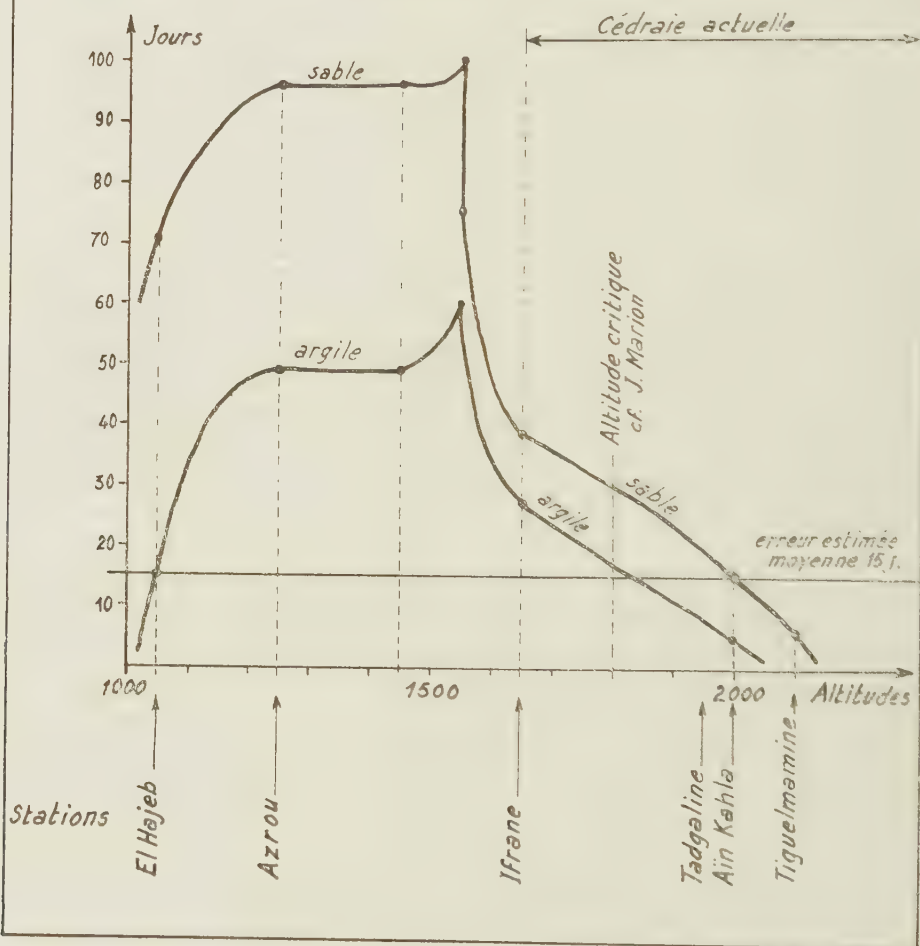
De la même façon on entrevoit l'extrême importance des sols à couverture organique épaisse qui risquent sans doute d'annuler toutes les chances de survie de la plantule qui s'y installerait (retard considérable dans la date d'apparition de la germination).

En résumé, plus encore que la pluviométrie c'est la date d'apparition des germinations qui détermine les chances de survie de la plantule car c'est elle qui fixe l'espérance pluviothermique sur un matériau déterminé.

C'est elle qui provoque la différenciation des différents types de sols à l'égard de la germination et qui finalement règle le mécanisme de la régénération en fonction de l'altitude.

Graphique N°21

DUREE D'ACTION EFFICACE DU COUVERT DE CHÊNE VERT SUR LE
MAINTIEN DE LA PLANTULE DANS L'ANNEE METEOROLOGIQUE
MOYENNE



B. SOUS COUVERT DU TAILLIS DE CHÊNE-VERT

1. Durée d'action efficace du couvert de chêne-vert sur le maintien de la plantule de cèdre

Comme pour l'étude du découvert, les courbes d'espérances pluviothermiques sous le couvert pour les années normales (climatogramme n^{os} 9, 10, 11, 12, 13 sous pochette) nous fournissent les deux limites de cette durée :

— Date d'apparition des premières germinations.

— Date de la fin de période efficace au moment où l'espérance pluviothermique sous le couvert du taillis atteint la valeur critique de la limite édapho-pluviothermique.

a) PREMIER CAS : A L'INTÉRIEUR DE LA CÉDRAIE.

C'est le cas général qui ne pose aucun problème graphique entre 1650 m et 2100 m d'altitude.

On constate sur le graphique n^o 21 que la durée étudiée décroît progressivement lorsque l'altitude augmente. A partir de 2000 m il est pratiquement impossible que le couvert du taillis puisse avoir un rôle favorable, les germinations y venant trop tardivement. On peut remarquer qu'à Aïn Kahla les conditions climatiques de régénérations sous chêne-vert commencent à être supérieures à la limite critique mais seulement sur sable. Les observations de terrain montrent qu'il n'y a pratiquement aucun chêne-vert sur argile qui ait accueilli des semis de cèdre et que les très rares cas où le taillis paraît favorable sont précisément situés sur sable dolomitique.

A 1800 mètres, l'argile de décalcification peut permettre au chêne-vert d'avoir une action favorable. C'est bien là l'altitude critique que MARION avait définie — uniquement par l'observation — et au-delà de laquelle le chêne-vert semblait inefficace. Nous la retrouvons à présent grâce à la théorie des espérances pluviothermiques.

A 1650 m enfin à la limite inférieure de la cédraie actuelle la durée des périodes de germinations compatible avec la survie des plantules de cèdre est la plus longue.

C'est effectivement bien à Ifrane que le rôle du chêne-vert apparaît avec la plus grande netteté et où sa contribution dans la régénération du cèdre ne fait aucun doute.

b) DEUXIÈME CAS : EXTRAPOLATION AUX ZONES D'ALTITUDE PLUS BASSES QUE LA CÉDRAIE ACTUELLE.

— *Méthode.*

Dans ce cas pour les stations d'Azrou et El Hajeb nous ne connaissons pas les dates d'apparition probables des plantules de cèdre.

L'extrapolation est donc surtout valable pour des altitudes voisines de celles d'Ifrane.

Reprenons le graphique n° 19 (sous pochette). Sur ce graphique nous avons pu fixer la date la plus précoce (mais non la plus probable) d'ensemencement donc de germination (voir p. 113) à découvert. Nous pouvons alors fixer approximativement les dates d'apparition des plantules sous le couvert pour chaque matériau considéré et pour chaque station altitudinale. Cette date est plus exactement déterminée à Ifrane.

Enfin, les climatogrammes 9, 13, 14 nous déterminent les dates à partir desquelles toute germination venue sous le couvert n'aura plus de chance de survie c'est-à-dire la fin de la période efficace du couvert du chêne-vert.

Ces dernières dates peuvent être reportées sur le graphique n° 19 pour chaque station. Nous déterminons alors une abaque qui nous donne les conditions de survie des plantules de cèdre sous le couvert du taillis de chêne-vert entre les altitudes 1050 m et 1650 m (abaque n° 22 sous pochette).

De la même façon que pour l'étude du découvert les durées d'action efficace du couvert ont été déterminées sur l'abaque n° 22 et reportées sur le graphique n° 21 (p. 120).

— *Commentaire.*

Ici encore on retrouve l'existence d'une zone altitudinale (1550 m) où les conditions de régénération sous le chêne-vert doivent être les plus faciles. En dessous de cette altitude les conditions sont quelque peu moins bonnes et semblent devoir rester les mêmes jusqu'à 1250 m. Plus bas la chute très rapide des durées d'action efficace du couvert montre que les conditions climatiques évoluent très rapidement. Comme pour le découvert dans cette zone d'altitude comprise entre 1050 m et 1250 m on peut dire que les micro-climats locaux (ou même le substratum) joueront un rôle très important qui sera déterminant.

Enfin il est à peine besoin de faire remarquer l'incidence énorme du substratum édaphique qui joue doublement par son influence sur la date d'apparition des plantules et sur la limite édapho-pluviothermique.

— *Critique.*

En ce qui concerne l'abaque n° 22 il faut attirer l'attention sur le fait que les espérances pluviothermiques données en ordonnées ne sont plus celles qui correspondent au milieu microclimatique du couvert du chêne-vert car l'abaque du couvert a été établie uniquement avec l'échelle des temps.

La superposition à l'avantage de nous montrer par contre la puissance d'action du couvert qui semble devoir permettre aux germinations de résister, alors que l'espérance pluviothermique à découvert est déjà largement inférieure aux limites édapho-pluviothermiques au même moment.

Enfin on notera que l'approximation essentielle faite dans la construction de l'abaque porte sur la date d'apparition des premières germinations mais non sur la fin de la durée d'action efficace du couvert. Les températures mensuelles moyennes dépassent en effet largement $+10^{\circ}\text{C}$ et il n'est pas impossible que le décalage d'apparition des germinations sous le couvert par rapport au découvert soit beaucoup moins grand qu'à Ifrane. Il y aurait alors lieu d'augmenter toutes les durées du graphique n° 21.

Par contre les dates limites d'action du chêne-vert données par l'abaque pour chaque station considérée sont bien exactes puisqu'elles sont déterminées comparativement aux observations et mesures faites en avril 1962. Cette dernière considération est très importante car elle permet de fixer avec certitude les dates au-delà desquelles des semis artificiels n'auraient plus aucune chance de survie.

Ainsi on peut dire que le taillis de chêne-vert peut continuer à jouer son rôle favorable dans la régénération naturelle du cèdre ou dans son installation par semis artificiel jusqu'à des altitudes très basses. En réalité les matériaux sableux sont très rares dans le plateau d'El Hajeb et même dans la forêt de Jaba. Le projet d'enrésinement de cette forêt devrait donc être basée sur les caractéristiques des sols rouges méditerranéens.

L'abaque n° 22 nous montre qu'il ne faudrait pas effectuer de semis sous chêne-vert plus tard que le 10 avril à Ifrane, le 19 mars à Azrou et sans doute au-delà du 25 février à 1100 mètres d'altitude.

C. CONCLUSION

1. Schéma

En guise de conclusion et pour jeter les bases fondamentales de la régénération du cèdre on peut dire que *la plantule de cèdre est prise dans un étau dont une branche serait les froids tardifs et l'autre la chaleur estivale plus ou moins précoce.*

En effet, comme nous l'avons vu la plantule de cèdre ne peut s'installer d'une part avant une certaine date qui constitue l'une des limites de la période favorable de germination et d'autre part au-delà d'une deuxième limite dans le temps sous peine de voir ses chances de survie disparaître.

C'est là le mécanisme schématique de la régénération du cèdre, le nœud du problème, autour duquel gravitent tous les facteurs du milieu. Chacun de ces facteurs verra son influence renforcée ou diminuée suivant que l'une ou l'autre de ces deux limites seront plus ou moins modifiées.

Reprenons chacun des principaux facteurs écologiques analysés dans notre étude.

2. Les facteurs écologiques pris isolément

a) CLIMAT.

C'est lui qui joue évidemment le rôle essentiel et nous en avons maintenant la certitude. La précocité des chaleurs printanières détermine la date d'apparition des premières plantules de cèdre et avec elle, les chances de survie au-delà du premier été.

Le climat permet alors de distinguer deux zones principales où le comportement de la cédraie est totalement différent :

· · Une zone d'altitude à hiver long et donc à dates de germination tardives, le plus souvent incompatibles avec la survie.

· · Une zone altitudinale basse où les hivers sont les plus courts et où la régénération du cèdre est vigoureuse.

Il est impossible de définir exactement une limite entre ces deux climats car le changement est progressif; néanmoins, si une option était nécessaire, on pourrait choisir comme séparation l'altitude de 1850 - 1900 mètres.

Nous notons ici que ces données sont valables aussi bien pour la régénération du cèdre que pour l'adulte lui-même. L'altitude élevée correspond souvent à une vieille futaie rarement dense, les zones basses à une cédraie relativement jeune, dense et vigoureuse.

b) LE SOL.

Il agit par ses caractéristiques physiques et chimiques en facilitant la précocité des germinations grâce à des points de flétrissement bas (absence d'argile ou de matière organique) mais aussi en accélérant la croissance radiculaire (sols sur matériaux volcaniques ou sur place à feu).

Dans ces deux derniers cas les chances de survie des plantules sont accrues.

Par contre des sols riches en argile ou avec des horizons de surface riches en matières organiques et en éléments alcalino-terreux vont ralentir le mécanisme de la germination (voir l'inhiber) et les chances de survie seront fortement diminuées.

Le rôle favorable des décapages artificiels déjà mis en évidence par les forestiers trouve ici l'une de ses explications.

c) LE COUVERT.

On a pu voir que l'action de ce facteur était beaucoup plus complexe puisqu'elle se manifeste de deux façons dont les effets sont opposés.

Le couvert est d'abord néfaste car il retarde la date d'apparition des plantules. Ensuite, il améliore les chances de survie en diminuant l'évaporation d'été.

Ces deux actions se conjuguent en permanence car elles sont indissociables dans la nature. Par ailleurs elles sont étroitement dépendantes du climat. On peut cependant dire — exception faite des microclimats — qu'il existe une altitude critique de 1850 - 1900 m en dessus de laquelle les couverts sont défavorables à la régénération alors que vers les zones altitudinales plus basses ils deviennent de plus en plus favorables. L'altitude 1550 m représente les conditions optimales (du moins sur le versant atlantique du Moyen Atlas). Plus bas encore le rôle de l'ombre diminue.

d) LES VERSANTS.

De la même façon les versants agissent sur les dates d'apparition des plantules de cèdre.

Les versants nord ou nord-est sont froids et les températures favorables à la germination n'y sont atteintes que très tardivement chaque année. La régénération y est très difficile particulièrement si l'ancien peuplement d'adultes est dense. On peut y voir alors apparaître des lisières.

Les versants sud et sud-ouest au contraire sont les plus chauds et la germination risque d'y être précoce. Par contre les conditions estivales y sont très sévères et c'est pourquoi la régénération peut s'y installer sous abri (en basse altitude tout au moins).

e) LA CONCURRENCE HERBACÉE.

Elle joue son rôle en diminuant les quantités d'eau mises à la disposition de la plantule. Une étude plus poussée pourrait permettre de chiffrer cette influence sur les espérances pluviothermiques et fixer en conséquence sa relativité dans le contexte écologique.

3. La subordination des facteurs écologiques

Prise isolément, l'influence de chaque facteur du milieu sur la survie des plantules de cèdre paraît simple.

On peut déjà noter que les facteurs en cause sont nombreux ce qui justifie, d'abord, le laborieux travail de nos prédécesseurs forestiers et de nous-mêmes pour réaliser le premier inventaire du contexte écologique.

Cependant comme nous l'avons déjà écrit il est impossible d'expliquer la nature en fonction d'un seul facteur (LEPOUTRE 1961). Précisément, le progrès considérable que nous enregistrons aujourd'hui dans la connaissance des conditions de régénération du cèdre ne provient pas tellement de la plus grande perfection de l'inventaire analytique du milieu écologique mais bien du moyen synthétique que fournit la théorie des espérances pluviothermiques : *Nous sommes maintenant en mesure de doser l'action des facteurs écologiques les uns par rapport aux autres, c'est-à-dire de déterminer exactement la subordination de ces facteurs.*

La trame essentielle est constituée par le climat qui s'avère généralement favorable en cédraie basse (1650 - 1800 m) et qui au contraire en altitude crée rarement des conditions compatibles avec la survie des jeunes plantules de cèdre.

Sur cette trame viennent se tisser l'ensemble des autres facteurs du milieu.

a) LE SOL.

Le sol par ses caractéristiques physiques ou chimiques accentuera ou amortira les effets climatiques.

Là où le climat est généralement compatible avec la survie des semis le facteur édaphique jouera peu mais si nous nous écartons de l'optimum climatique alors un facteur défavorable tel que la présence d'une litière organique ou d'un sol très argileux, pourra détruire l'équilibre et éliminer la régénération du cèdre. Inversement dans un climat relativement froid où la survie n'est pas possible sur un sable dolomitique par exemple, un sol sur matériaux volcanique accélérant la croissance racinaire pourra permettre l'installation du semis. C'est ce que nous observons en altitude.

Il n'y a donc pas de type de sol permettant ou interdisant la régénération mais il y a simplement des types de sols qui la facilitent plus ou moins.

Nous sommes alors amenés à tirer un enseignement beaucoup plus général quant à l'utilisation de la pédologie dans l'étude d'un problème analogue à celui de la régénération du cèdre.

En effet, l'observation de quelques faits typiques en liaison avec le sol ne peut en aucun cas nous autoriser à formuler une conclusion définitive tant que le contexte écologique et en particulier climatique n'est pas parfaitement connu.

Cette dernière condition n'est d'ailleurs pas encore suffisante car tous les éléments du problème ne peuvent être comparés qu'à l'échelle de la plante.

On peut illustrer ceci par deux exemples qui nous paraissent maintenant très frappants.

Le premier a trait aux précédentes recherches sur l'humidité de sol. Avant de connaître le contexte écologique et l'interaction de ses divers facteurs on a eu tendance à comparer l'état hydrique des sols et leurs réserves. Il apparaît maintenant que cette comparaison est non seulement très délicate, mais encore, qu'elle peut conduire à de fausses interprétations. En effet deux stations peuvent très bien posséder les mêmes réserves hydriques, au même moment de l'année sans que la plantule de cèdre qui s'y trouve ait les mêmes chances de survie car à la date considérée, les deux plantules ne sont pas nécessairement comparables ; l'une peut avoir trois mois d'existence et l'autre un mois par exemple. C'est le cas des stations de basse altitude comparées avec celles d'altitude plus élevée et ceci, même si on a pris la précaution de comparer des sols identiques.

Le deuxième exemple nous paraît encore plus évident. Nous le résumerons en posant la question suivante : où nous aurait entraînés la recherche de facteurs édaphiques incompatibles avec la régénération là où nous savons maintenant que les conditions climatiques interdisent, à *elles seules*, la survie des plantules ?

On peut se rendre compte du danger considérable de l'absence de méthode ou du choix de celle-ci dans un domaine restreint. Nous ne pouvons, par contre, que nous féliciter d'avoir choisi la méthode progressive dont il a été question ici même.

b) LE COUVERT.

De la même façon que le sol, le couvert a son propre rôle à jouer mais celui-ci est étroitement lié au climat.

Il peut être soit favorable soit défavorable et cette action variable dépend encore du milieu édaphique où elle s'exerce. On imagine alors la multitude de cas possibles suivant l'intensité respective des quatre facteurs, sol, climat, ombrage et temps. Les cas extrêmes que nous avons étudiés jalonnent parfaitement cette gradation des conditions d'influence du couvert et nous devons à ce sujet mentionner la clairvoyance de MARION qui avait soupçonné empiriquement l'existence d'un seuil au-delà duquel le couvert devenait inefficace — nous ajouterons aujourd'hui *néfaste* —. L'état du couvert ne doit plus être mis en cause à l'exception de ses termes extrêmes : jeune cépée ou futaie dense. Ces deux termes sont nécessairement défavorables en tous lieux et particulièrement la futaie en zone d'altitude supérieure à 1850 m, là où elle retardera une germination déjà trop tardive. En fait on peut dire qu'il n'y a aucune régénération sous le couvert à partir de 1900 m d'altitude. En cédraie basse la futaie de chêne-vert est sans doute moins dangereuse puisque les conditions d'ombrage deviennent plus nécessaires pour protéger les semis des méfaits d'un été plus sévères.

c) L'EFFET DE VERSANT.

Il s'agit d'un microclimat que l'on peut naturellement rencontrer dans n'importe quelle zone climatique, mais comme les autres facteurs du milieu il n'agit jamais seul et son action se voit ainsi modifiée.

Nous mentionnerons pour mémoire l'influence des types de sol qui peut accentuer ou amortir l'effet de versant. Il ne semble pas que cette influence puisse aller jusqu'à masquer le microclimat.

Par contre le climat lui-même prend une importance considérable.

— *En cédraie basse* là où les étés sont les plus chauds, le versant nord portera de la régénération pour deux raisons essentielles.

— Parce que la germination restera encore assez précoce (effet climatique).

— Parce que les régénérations seront protégées l'été (effet microclimatique).

Le versant sud ne bénéficiera par contre que *d'un seul facteur favorable* : la date de germination précoce. En été les conditions seront beaucoup plus sévères.

Des relevés climatologiques précis devraient permettre de chiffrer exactement les espérances pluviothermiques de ces microclimats mais déjà l'effet de versant apparaît, avec dominance du chêne-vert sur le versant chaud et du cèdre sur le versant frais.

— *En cédraie d'altitude.*

Les phénomènes sont inversés. Sur le versant nord très froid les germinations sont extrêmement tardives et la survie est impossible. Cet état de chose sera encore détérioré par l'existence d'une futaie dense.

Sur le versant sud la régénération bénéficiera d'un seul facteur favorable, celui d'une date de germination précoce ; mais contrairement aux basses altitudes nous savons que cette précocité est rare (effet climatique) ; il en résulte que la régénération ne pourra se faire qu'en versant sud à l'occasion d'années exceptionnellement favorables.

Les observations de terrain confirment bien cette conclusion et les travaux de PUJOS (1964) montrent bien l'inversion des vieilles cédraies qui passent en versant sud, tout en s'éclaircissant, dans les zones d'altitude.

Il semble bien que cet effet de versant puisse se manifester à partir de 1900 mètres environ.

d) LA CONCURRENCE HERBACÉE.

Ici encore nous avons affaire à une action dont l'influence peut être toute relative. Nous avons effectivement été souvent surpris de constater l'action très variable de la couverture herbacée du sol qui peut, dans bien des cas, ne pas être incompatible avec la régénération. A la lumière des

enseignements de la théorie des espérances pluviothermiques nous concevons à présent que la concurrence herbacée puisse jouer un rôle plus ou moins néfaste suivant les milieux climatiques ou édaphiques. Elle conduit toujours à une diminution des espérances pluviothermiques, mais comme on l'a vu, cette diminution peut ne pas être suffisante dans certains secteurs climatiques pour interdire la survie des germinations de cèdre.

4. Bilan

L'établissement d'un bilan est finalement extrêmement difficile et nous ne pouvons le faire qu'en limitant les facteurs mis en cause.

Nous avons tenté une approche de ce bilan en ne considérant que les facteurs climatiques et l'ombrage, ce dernier élément représentant assez bien les effets microclimatiques de versants en particulier.

En choisissant alors un type de sol — soit ici une rendzine magnésienne pour laquelle la limite édapho-pluviothermique est de 34, on arrive à dresser le graphique ci-contre (voir graphique n° 23).

Commentaire.

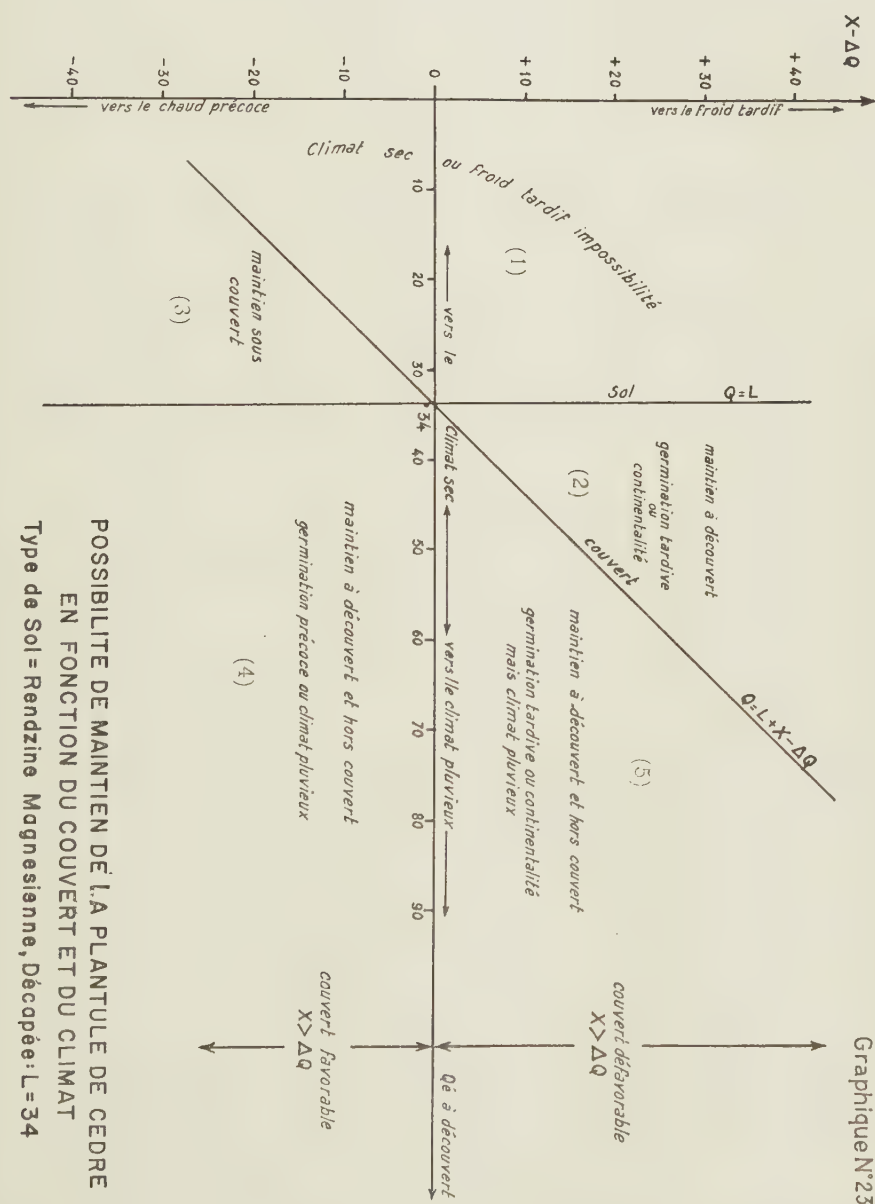
— La zone (1) correspond à l'impossibilité de survie des jeunes plantules d'un an soit parce qu'elles sont apparues trop tard (effet climatique ou microclimatique) soit parce que le type de sol considéré est impropre à la conservation des germinations dans le cadre climatique considéré : $Q < L$ (effet édapho-climatique).

— La zone (2) représente les stations où le maintien de la plantule dans le courant de l'été n'est possible qu'à découvert, Q étant compris entre les valeurs L et $L + X - \Delta Q$. C'est la zone où le couvert est défavorable c'est à-dire où

$$Q - X + \Delta Q < L$$

Il s'agit obligatoirement de zones altitudinales élevées ou de microclimats très froids.

— La zone (3) au contraire où $Q < L$ et $Q - X + \Delta Q > L$, implique une zone climatiquement défavorable mais où le couvert arrive à relever l'espérance pluviothermique au-dessus de la limite critique. C'est la zone d'altitude moyenne ou de microclimats chauds, où la régénération ne peut se faire à découvert (Kissarit).



— Les zones (4) et (5) permettent le maintien des germinations indifféremment sous le couvert ou hors couvert soit que l'action néfaste du couvert est insuffisante pour contrecarrer l'effet climatique général (zone 4) soit que l'action du couvert est favorable ainsi que le climat (zone 5).

CHAPITRE III

LE CÈDRE ESSENCE CLIMAX — ÉVOLUTION CLIMATIQUE

Le climax est le stade d'évolution du couvert végétal où celui-ci est en équilibre avec les facteurs du milieu, indépendamment des actions dues à l'homme.

Cette notion est admise « un peu théoriquement » (GAUSSEN 1938) et en fait la définition du climax est assez variable suivant les auteurs. Il n'est pas dans notre intention d'y revenir mais il nous paraît utile d'attirer l'attention sur quelques données complémentaires qu'apporte l'étude de la régénération du cèdre au concept climacique.

1. Stabilité et durabilité du climax

Les abaques climato-écologiques que nous avons dressées « à découvert » et « sous le couvert » concernent les germinations dans leur première année de croissance. Nous ignorons encore les chances de survie des plantules dans le courant de leur deuxième puis troisième année, mais quelques points paraissent certains :

a) La survie est toujours fonction de la vitesse de croissance. Nous avons pu le mettre en évidence dans des expérimentations faites à Kissarit (Parcelle Pétin) où les mortalités ont pu être prévues statistiquement et trois ans à l'avance, à l'aide du seul critère « hauteur des semis ».

b) Cette croissance est fonction de la durée annuelle de végétation. Tout porte à croire en conséquence que les conditions définies pour les germinations resteront valables pour les semis un peu plus âgés.

En d'autres termes plus la période de croissance comprise entre les chaleurs printanières et l'arrivée de la sécheresse estivale sera grande, plus les chances de survie doivent s'affirmer. Il ne nous est pas possible de chiffrer ces chances d'autant que les effets climatiques seront cumulatifs sur les quatre années suivantes, mais le principe reste valable.

c) Considérations restrictives sur l'abaque climato-écologique.

Par ailleurs, la synthèse écologique basée sur les espérances pluviothermiques fait apparaître des impossibilités de régénérations. Celles-là, seules, sont certaines ; il ne peut y avoir de régénération dans les surfaces *extérieures* aux limites de l'abaque écologique.

A l'intérieur des limites au contraire il peut y avoir d'autres facteurs non étudiés qui réduiront encore les chances de survie. Nous pensons en particulier aux températures minimales absolues et à l'action du gel. Mais ces facteurs sont vraisemblablement secondaires car s'il en était autrement nous ne pourrions constater une concordance aussi parfaite entre les conclusions d'une part et l'aspect de la régénération ou même de la cédraie d'autre part. Nous devons donc supposer que *les facteurs considérés sont prépondérants et définissent le problème*. Nous en arrivons alors à considérer l'état actuel de la cédraie comme une résultante des phénomènes de régénérations ou, par voie de conséquence, comme un reflet des phénomènes climatiques.

d) La descente de la cédraie vers des climats aux printemps plus précoces paraît également sûre, puisque la vigueur et surtout la jeunesse du peuplement adulte sont liées en permanence à l'intensité de la régénération. Celle-ci trouvant son optimum à 1550 m, l'extension de la cédraie vers cette altitude devrait se poursuivre. Seule l'action humaine la limite à présent.

Ainsi l'importance du problème de la régénération apparaît pour le climax du cèdre et le climax en général — celui-ci doit être *stable* et *durable* or « quand une espèce végétale trouve pour sa régénération les conditions qui ont permis son installation, sa présence est durable » (GAUSSEN 1950).

Si nous avons affaire à une espèce moins longévive que le cèdre il ne fait pas de doute que son extension serait beaucoup plus restreinte. En l'occurrence, elle se limiterait à la cédraie dite tempérée (PUJOS 1964) avec quelques îlots en cédraie moyenne (jusqu'à 1850 - 1900 m). On peut donc dire que la cédraie n'est plus, partout, en équilibre avec le climat ; *le cèdre n'est pas une essence climax en tous points de son aire actuelle*.

Ceci nous autorise donc à le considérer comme le témoin d'un ancien climax dans toutes les zones altitudinales élevées et à affirmer qu'il y a eu durant l'époque actuelle *une modification* du climat. Cette modification

n'implique pas une *évolution climatique* au sens où les météorologistes ou certains écologistes l'entendent habituellement. D'ailleurs comme on a pu le voir ce n'est pas un changement des données météorologiques moyennes qui s'est produit ; c'est tout simplement un déplacement des valeurs saisonnières (occurrence des températures maximales plus élevées au printemps ou pluviosité mieux répartie) associé à une fréquence annuelle de ces valeurs. Il est évident que de telles variations sont difficilement détectables dans les relevés météorologiques habituels et c'est sans doute ce qui a fait dire à DUBIEF (1963) qu'il était impossible d'affirmer un changement climatique en Afrique du Nord dans le courant du dernier siècle. L'arbre lui, et surtout quand il a la possibilité de vivre une demi-douzaine de siècles, ne peut nous tromper quant à cette modification du climat. D'autres techniques plus récentes n'ont-elles pas mis en évidence ce rôle de la végétation qui supplée aux relevés climatologiques les plus minutieux et les plus inaccessibles à nos moyens. QUEZEL (1963) arrive ainsi à des conclusions étonnantes : « La forêt ou la guarrigue méditerranéenne ont cédé la place « au désert. Depuis 400 ans la région méditerranéenne dans les zones « montagneuses du Sahara tout au moins, a reculé de plus de 1 500 km ». Et le même auteur y affirme la présence du cèdre à une période remontant à 3 500 ans avant J.-C.

S'il ne nous est pas possible malgré de fortes présomptions, d'affirmer que le climax du cèdre est confondu avec celui de ses germinations à 1550 m d'altitude, il devient aussi imprudent de parler du cèdre comme essence climax dans toute son aire de répartition marocaine, à moins de préciser qu'il ne s'agit que de l'adulte ; dans ce cas, il ne s'agirait plus d'un climax aux sens de GAUSSEN (1938).

En résumé, il nous semble finalement indispensable de s'assurer que la totalité du cycle végétatif d'une essence forestière peut se dérouler normalement avant de penser que l'on peut avoir affaire à une essence climax en un lieu déterminé.

On peut penser inversement que si la régénération se raréfie dans certains secteurs climatiques ou géographiques, la longévité du cèdre pourra assurer une pérennité de l'essence en permettant à celle-ci d'attendre des périodes climatiques plus favorables. C'est sans doute vrai à condition que ces périodes se présentent effectivement. Il ne semble pas que la fréquence de ces dernières aille en augmentant si on en juge par la rareté des régénérations en zones d'altitude et ceci semble bien confirmer l'hypothèse d'une modification climatique dans le courant des derniers siècles.

2. Essence d'ombre et de lumière

A ce propos, il semble intéressant d'attirer l'attention ici, sur quelques réflexions suggérées encore par cette étude.

En effet si des espèces botaniques ou plus particulièrement des essences forestières exigent des conditions de lumière bien précises pour assurer leur croissance elles peuvent en exiger d'autres pour l'installation de leurs semis.

La notion d'ombre et de lumière peut alors paraître beaucoup plus compliquée et la distinction faite jusqu'à présent peut être singulièrement faussée.

Si nous prenons le cèdre comme exemple, on est amené à conclure qu'il est une essence d'ombre à basse altitude et au contraire une essence de lumière à haute altitude. En fait, c'est simplement l'opportunité des conditions d'installation qui crée cette incohérence. De la même façon le sapin peut être considéré comme une essence d'ombre dans les Vosges françaises et une essence de lumière, au contraire, dans le Midi de la France.

Dans les deux exemples l'arbre est une essence d'ombre quand il bénéficie de conditions d'installations favorables (soit germination précoce soit absence de saison sèche marquée). Au contraire il devient une essence de lumière quand les conditions d'installation sont défavorables (germination tardive, occurrence d'une saison sèche très sévère).

Le semis de cèdre peut s'installer tardivement à basse altitude ; il recherchera alors les stations où la protection est la meilleure en été (à l'ombre). Inversement, s'installant trop tardivement sous le couvert en altitude, il ne supportera pas les rigueurs de l'été. C'est ainsi que toutes les régénérations se rencontreront exclusivement en plein découvert dans la cédraie haute ou sèche ; les semis trouveront là leur plus grande chance de survie grâce à une germination hâtive et à une période de croissance préestivale plus longue.

Nous pensons qu'il peut s'agir du même phénomène pour le sapin.

Il est donc certain que la notion d'essence d'ombre et de lumière doit être utilisée avec prudence car les observations de terrains peuvent n'être finalement que le reflet des conditions d'installation de l'essence et non celui des conditions optimales de croissance.

CHAPITRE IV

**RÈGLES FONDAMENTALES A RESPECTER
DANS LE FUTUR AMÉNAGEMENT DE LA CÉDRAÏE****A. GÉNÉRALITÉS**

L'aménagement doit avoir pour but la conservation du capital forestier d'abord, son exploitation rationnelle et continue avec le maximum de rentabilité, ensuite.

Ce n'est que le premier point de vue que nous envisagerons ici. La conservation du capital implique en effet son renouvellement par voie naturelle ou artificielle, c'est dire qu'il met en cause la régénération de l'essence

Jusqu'à présent, la connaissance insuffisante des conditions d'installation des plantules de cèdre n'avait pas permis de fixer des règles d'aménagement générales pour toute la cédraie. Seules les cédraies basses où le chêne-vert avait montré son efficacité comme auxiliaire de la régénération, (MARION 1956) ou certains secteurs particulièrement bien favorisés édaphiquement et climatiquement comme le Seheb volcanique permettaient d'appliquer des règles d'exploitation plus précises (aménagements de 1940).

Néanmoins on avait toujours tendance à généraliser ces règles dans des cédraies *très différentes* où il ne semble plus maintenant que le même régime soit applicable (Aïn Kahla, Ouiouane, Sidi M'Guilt, Aberbrane).

Dans de telles conditions, l'acquisition de nouvelles données pose à présent le problème de leur utilisation.

B. NÉCESSITÉ D'UN RÉSEAU CLIMATOLOGIQUE DENSE

On a vu l'importance des facteurs climatiques dans les phénomènes de régénération. Elle est telle qu'il paraît indispensable de connaître parfaite-

ment les données météorologiques dans les principaux secteurs de la cédraie pour pouvoir travailler avec précision.

On pourrait, par la multiplication des postes d'observations météorologiques (pluviométriques et thermiques) dresser un canevas plus exact des conditions climatiques et déterminer de la sorte les conditions de régénérations. C'est là un investissement peu coûteux en regard du capital forestier à sauvegarder. Quand bien même on consentirait à cet investissement et aux frais non négligeables de personnel pour effectuer les relevés, on remarquera que la mise à profit des résultats ne pourrait être envisagée qu'à longue échéance (10 ans minimum). Le forestier ne doit pas reculer devant ces délais qui sont malgré tout très courts à l'échelle de la vie d'un arbre.

La première base de l'aménagement serait donc d'établir ce réseau et d'y consacrer du personnel et du temps sans parcimonie aucune. La rentabilité d'une telle opération n'est même pas discutable si toutefois on veut bien accorder à ces relevés météorologiques l'importance qu'ils méritent.

Dans les délais qui nous séparent de l'exploitation d'un tel réseau il faut maintenant prendre les devants et exploiter les données connues en notre possession.

A défaut d'une connaissance suffisante des conditions climatiques, il y aurait bien entendu un palliatif de haute précision qui consisterait à définir les milieux botaniques ou à inventorier les espèces végétales caractéristiques du climat. Il s'agit là davantage d'une étude phytosociologique que d'une cartographie botanique car il faudrait en effet rechercher les espèces dont la biologie est soumise à des impératifs climatiques précis d'une part et isoler l'influence des facteurs édaphiques du contexte écologique d'autre part.

Une étude de ce genre implique des moyens en matériel et en personnel de haute qualification qu'il n'est sans doute pas possible d'envisager à l'heure actuelle.

C. RÈGLES PROVISOIRES POUR DÉTERMINER LES CONDITIONS CLIMATIQUES OU MICROCLIMATIQUES DU MILIEU

Il convient d'utiliser les éléments climatiques et botaniques en notre possession.

Le travail de A. PUJOS (1964) fournira déjà une masse de renseignements du plus grand intérêt pour évaluer les conditions écologiques sur le terrain ; nous pouvons cependant insister ici sur quelques repères botaniques particulièrement nets et sur leur utilisation.

1. Le chêne-vert témoin climatique ou microclimatique

Cette essence est bien connue maintenant et nous savons dans quelle mesure les cépées de chêne-vert peuvent accueillir les semis de cèdre.

Il y a là une référence précieuse qui peut servir immédiatement à caractériser le climat ou le microclimat :

a) PREMIER CAS : PRÉSENCE DE SEMIS SOUS LE COUVERT DE LA CÉPÉE DE CHÊNE-VERT.

Cette présence nous confirme à coup sûr l'efficacité de l'ombrage et par là même, la fréquence des années météorologiques favorables à l'installation du cèdre sous le couvert. En d'autres termes les printemps sont souvent précoces ou en tous cas le sont suffisamment pour ne pas compromettre la survie des germinations installées à l'ombre.

On peut de plus nuancer l'action du couvert du chêne-vert :

— *Suivant l'intensité de la régénération établie sous abri*, on pourra arriver à apprécier comparativement la fréquence des années climatiques favorables associées à celles de la fructification.

— *Suivant la répartition de la régénération sous le couvert*, on pourra distinguer des installations dans la cépée en plein ombrage ou au contraire dans sa périphérie.

Dans le premier cas la régénération traduit d'excellentes conditions sous ombrage, dans le second il est vraisemblable que le semis a déjà besoin d'un ensoleillement mesuré pour bénéficier d'une germination hâtive. Ce dernier cas traduit une certaine transition climatique entre les régions où les printemps sont souvent précoces et celles où la fréquence des hivers prolongés est plus grande.

— *Suivant la présence ou l'absence de semis à découvert*.

Si le semis de cèdre ne s'installe pas à découvert, la cépée de chêne-vert apparaît comme l'auxiliaire indispensable de la régénération et les conditions climatiques correspondent sans doute à une pluviométrie générale-

ment insuffisante en regard de la limite édapho-pluviothermique, avec des dates de germinations moyennement précoces (Kissarit).

Si au contraire la régénération se produit aussi à découvert la zone climatique sera favorable à la fois par ses chaleurs printanières précoces et sa pluviométrie importante.

b) DEUXIÈME CAS : ABSENCE DE SEMIS SOUS LE COUVERT DES CÉPÉES DE CHÊNE-VERT.

Cette absence reflète des conditions climatiques défavorables caractérisées par des froids tardifs. Ce sont les zones d'altitude supérieure à 1850-1900 m ou les microclimats froids.

Nous avons vu que dans de telles conditions il ne fallait pas s'attendre à voir le chêne-vert jouer un rôle favorable car l'ombrage est néfaste. Il importe cependant d'attirer l'attention sur une lacune dans l'interprétation du milieu écologique. On peut en effet distinguer deux types différents de régénération, chacun de ces deux types permettant des conclusions plus ou moins précises.

— *Premier type : Absence de semis sous le couvert, associée à leur présence à découvert.*

Dans ce cas l'absence de régénération sous le chêne-vert n'est pas la conséquence d'une stérilité des adultes. Il y a de la graine, l'ensemencement est normal ou en tous cas il se produit. La prédilection du semis pour les expositions en pleine lumière traduit un bioclimat particulier où l'impératif de survie des plantules est l'occurrence de chaleurs précoces : c'est au soleil qu'elle doit apparaître d'abord à l'inverse des stations à l'ombre.

— *Deuxième type : Absence de semis sous le couvert, associée à leur absence à découvert.*

Cette fois-ci, nous ne pouvons plus être aussi affirmatif et l'absence généralisée de régénération pourrait être, en partie, une conséquence de la stérilité des adultes. Il est courant en effet de constater une fructification beaucoup plus rare en altitude et particulièrement dans les cédraies séniles où aucun semis ne s'est jamais installé sur des kilomètres carrés dans le courant des trois ou quatre derniers siècles.

C'est ici que la connaissance du milieu botanique serait d'un grand secours.

Néanmoins, il est peu probable que cette cause soit seule à jouer et par ailleurs ces milieux se trouvent précisément dans des zones où nous avons constaté climatiquement l'impossibilité presque totale d'installation et de survie des plantules.

Quand de très rares régénérations peuvent être trouvées elles correspondent toujours à des zones de découvert total et à des microclimats ensoleillés donc chauds. Ce sont généralement des versants sud.

c) RÉSUMÉ :

Grâce au comportement du chêne-vert on peut finalement distinguer quatre zones climatiques principales et éventuellement quatre microclimats qui correspondent à :

- 1° la présence de régénération sous le couvert et hors couvert
- 2° la présence de régénération uniquement sous le couvert
- 3° la présence de régénération uniquement hors couvert
- 4° l'absence de régénération hors et sous couvert.

Chacun de ces bioclimats ou microbioclimats est parfaitement défini et nécessite des interventions très particulières que nous allons examiner à présent.

2. Choix des interventions dans les principaux milieux climatiques

a) GÉNÉRALITÉS :

Nous pouvons reprendre ici la citation déjà faite par MARION (1955) tirée des écrits de Boudy (1950).

« Le problème de la régénération domine toute la question du traitement du cèdre en Afrique du Nord et c'est sa solution qui conditionnera les méthodes culturales et d'aménagement à lui appliquer ».

C'est bien la régénération que nous allons prendre pour base, et de cette façon nous pensons rester dans la ligne directrice tracée par les forestiers eux-mêmes.

L'une des critiques des aménagements de 1940 formulée par MARION était en effet la suivante :

« On a méconnu en somme et pour cause, les principes de la sylviculture française d'après guerre que l'on peut résumer par les phrases suivantes, « l'une de L. SCHAEFFER : « Une régénération ne se commande pas, elle se constate », l'autre de BADRE : « Une régénération naturelle s'annonce avant d'ouvrir le peuplement, lors des dernières coupes d'ensemencement qui ne doivent pas être de simples coupes d'attente », l'autre enfin de « PUTON : « Les coupes d'ensemencement ne sont en réalité qu'une dernière phase dans les éclaircies successives qui font la culture des peuplements ».

En d'autres termes, il faut copier la nature et non vouloir la transformer: là où nous voyons de la régénération c'est qu'elle peut s'y produire. Notre rôle est donc de faciliter ce mécanisme en étudiant les conditions naturelles correspondantes et en réalisant des milieux analogues.

Bien entendu aucune opération culturale ne sera jamais assurée d'un succès immédiat mais une intervention dans le sens qui a été dit doit nous fournir les plus grandes chances de réussite.

Il serait donc illusoire d'interpréter à la lettre les règles qui vont suivre en particulier lorsque nous donnons des lieux précis comme exemple. On pourra toujours trouver dans une zone climatique déterminée des microclimats qui ne correspondent pas aux règles générales. Dans ce cas particulier nous ne pouvons avoir recours qu'à l'appréciation du forestier et à la répétition des opérations culturales car, ne l'oublions pas, la régénération du cèdre est soumise avant tout en tous lieux à une probabilité météorologique.

b) INTERVENTIONS DANS LES DIVERS TYPES CLIMATIQUES DE LA RÉGÉNÉRATION.

— *Régénération sous le couvert et hors couvert.*

Ce type de régénération semble montrer que le cèdre est indifférent à l'ombrage. L'intervention du forestier doit donc consister à réaliser un dosage des milieux couverts et découverts.

Il faut cependant attirer l'attention sur les plus grandes densités de jeunes semis rencontrés à l'ombre où ils peuvent supporter une germination tardive. Parallèlement nous avons pu constater (Ifrane) l'existence de huit années sur dix, favorables à l'installation des régénérations sous la cépée de chêne-vert.

La part accordée aux taillis de chêne-vert doit, de ce fait, être plus importante et l'éclaircie modérée.

Par la suite lorsque la régénération sera assurée il faudra réduire l'ombrage par des recépages successifs du chêne pour accélérer la croissance du cèdre.

Nous ne pensons pas qu'il faille modifier ce mode de traitement suivant la nature des sols dans ce type où le facteur dominant du milieu écologique est bien l'ombrage ; par contre il faudra tenir compte de l'exposition et accentuer l'éclaircie du chêne-vert sur versant nord où il risque d'y avoir des froids plus tardifs. Le versant sud étant toujours très chaud en été, il faudra veiller à y conserver un couvert suffisant.

— *Régénération uniquement sous le couvert.*

Si les semis sont installés en plein ombrage, il va de soi que le taillis de chêne doit être maintenu dans son intégralité. Par contre, il faudra opérer quelques éclaircies si la position des régénérations est périphérique à la zone d'ombrage des cépées et ceci en particulier sur les versants nord où cette répartition indiquerait déjà un besoin de chaleur au moment de la germination.

— *Régénération uniquement hors couvert.*

Ce type de régénération implique des froids tardifs et un rôle néfaste du couvert. La suppression de celui-ci est donc obligatoire mais on doit la nuancer suivant les types de sols et l'exposition.

Elle doit être d'autant plus poussée que l'on se trouve sur un matériau défavorable à la germination, c'est-à-dire sur des sols argileux ou très organiques.

L'éclaircie doit être sévère sur les versants nord qui bénéficient rarement des conditions de chaleur propices à une germination précoce. Par contre nous ne pensons pas que sur les versants sud il faille délibérément supprimer le chêne-vert. En effet, si l'ombrage est néfaste à la régénération, il n'y a pas de doute sur le rôle favorable d'une ombre portée passagère permettant un bon ensoleillement pendant la moitié de la journée par exemple et une protection l'après-midi. Bien que la régénération s'installe rarement dans de telles conditions il faut conserver cette chance en particulier dans les zones altitudinales moyennes (Aïn Kahla). L'éclaircie sur versant sud doit donc finalement être assez forte mais non totale.

En zone d'altitude très élevée (2100 m et plus) il ne doit plus y avoir de part faite à l'ombrage et l'éclaircie doit être généralisée sur les deux versants, de même dans les cédraies proches du climat semi-aride (Arbalou-Imlil).

— *Absence totale de régénération.*

On peut distinguer ici deux cas suivant l'altitude.

— Au-dessus de 2700 mètres, nous sommes certainement dans la zone des froids très tardifs et ce n'est sans doute pas la stérilité des adultes qui peut expliquer à elle seule l'absence totale de semis. Même si l'ensemencement était normal le facteur climatique interdirait le plus souvent la survie des plantules. Seule une année particulièrement et exceptionnellement favorable peut permettre l'installation du cèdre. Il importe donc que le forestier réalise un milieu réceptif à cet ensemencement, pour utiliser la chance météorologique quand elle se produira.

Nous aboutissons à une règle dont l'application dans ce milieu climatique n'est que le cas particulier d'une intervention générale et sur laquelle nous devons maintenant insister.

Pour qu'un milieu écologique soit réceptif de l'ensemencement avec les meilleures chances de survie des plantules il est indispensable d'y créer des conditions édaphiques propres à la germination hâtive d'une part et facilitant la croissance d'autre part.

Le décapage des horizons de surface nous paraît donc indispensable dans *tous* les secteurs climatiques difficiles. Il n'est peut-être pas aussi nécessaire dans les zones climatiques plus tempérées *mais dans tous les cas il sera favorable* par la suppression, en particulier, des horizons organiques qui retardent les phénomènes d'installation de la plantule ou par l'élimination d'une couverture herbacée toujours défavorable à la germination et à la croissance.

La réalisation de ce décapage doit être simple et le seul passage d'un soc de charrue suivant les courbes de niveau doit suffire. Ce serait certainement une erreur que de réaliser des labours en plein comme il a déjà été fait.

Un sous-solage de la raie ainsi tracée serait aussi conseillé sur les sols très argileux, mais sa réalisation entraînerait des frais qui, à priori et en tous cas à un premier stade, peuvent être évités.

La difficulté réside finalement dans le seul entretien de ce milieu réceptif. En ce qui concerne la réalisation des conditions d'ombrage l'aménagement peut facilement y aboutir. Il sera sans doute beaucoup plus difficile et coûteux *d'entretenir* les décapages pour les préserver de l'envahissement parfois très rapide de l'enherbement.

Entre 1900 et 2000 mètres. — Il n'est pas impossible que l'absence de graine prenne une importance très grande dans le processus de régénération. L'interprétation du milieu devient alors plus délicate et le choix de l'intervention devrait être fait après que l'on se soit assuré du rythme et de la fréquence des ensemencements. Les conditions de régénération et les interventions correspondraient à celles des zones altitudinales élevées dans le cas où la stérilité des adultes ne serait pas un phénomène courant.

3. Interventions dans la futaie

Le rôle de la futaie s'inscrit d'abord dans le mécanisme d'ombre et de lumière que nous avons étudié. Dans les limites de ce qui a été dit on pourra donc appliquer intégralement les règles générales mentionnées à propos du taillis de chêne-vert. Certains points particuliers méritent cependant notre attention.

a) LA FUTAIE DE CHÊNE-VERT.

Elle est le plus souvent en mélange avec celle du cèdre et réalise dans ce cas des couverts très denses. Sauf en climat tempéré, (altitude inférieure à 1850 m) où l'ombrage devient le facteur essentiel de la régénération du cèdre *cette futaie doit être éliminée* dans sa totalité par un récépage systématique.

Le récépage aura pour but de modérer à un premier stade le facteur ombrage et à un deuxième stade, de diminuer considérablement les litières qui couvrent le sol sur de très fortes épaisseurs, interdisant l'installation des semis par leur seule présence.

Cette incidence de la futaie pleine sur les conditions édaphiques de la régénération du cèdre nous paraît avoir une importance aussi grande que l'excès d'ombrage, en particulier sur des sols sableux dolomitiques.

C'est pourquoi on peut affirmer que la futaie de chêne-vert est absolument incompatible avec une bonne régénération du cèdre dans la presque totalité de la cédraie.

b) LA FUTAIE DE CÈDRE.

Nous n'avons rien à ajouter sur ce chapitre qui n'ait pas été dit soit dans les interventions relatives au taillis de chêne-vert soit dans celles que nécessite la futaie mélangée. Il faut tout de même insister encore une fois

sur les conditions édaphiques défavorables créées par les litières abondantes généralement constatées en futaies pleines. Nous rappellerons à cet effet les conclusions déjà élaborées lors de nos études sur l'humidité du sol (LEPOUTRE 1961) :

1° Les couverts denses de cèdre provoquent une perte considérable dans l'alimentation en eau du sol.

2° Dans ce cas le bilan hydrique est extrêmement faible.

3° Le point de flétrissement s'élève donc à des valeurs très fortes et il devient pratiquement impossible que le bilan hydrique du sol soit compatible avec la germination.

La concurrence qu'exercent les systèmes racinaires des adultes à l'égard des semis n'est sans doute pas à négliger non plus mais à notre avis le milieu édaphique (et peut-être botanique ou microbiologique) créé sous la cime des vieux cèdres est sans doute le facteur essentiel qui, ajouté à l'ombrage des futaies denses ou au froid des versants nord, interdit toute régénération.

L'ensemble de toutes ces données ont été groupées dans le tableau schématique ci-contre.

4. Utilisation des places à feu

Il ne fait aucun doute sur le caractère éminemment favorable des places à feu à l'égard de la germination ; également sur la fertilisation passagère qu'elles exercent sur le sol. La pratique du brulis des rémanents ou des résidus d'exploitation doit donc être conservée d'autant que c'est très souvent le seul moyen d'installer le semis de cèdre.

On peut aujourd'hui perfectionner cette pratique en déterminant les emplacements les plus favorables pour les places à feu. Le choix de cet emplacement, avec bien entendu l'opportunité de la pratique dans le temps doivent en effet déterminer la réussite ou l'échec si contradictoirement constatés.

a) CHOIX DE L'EMPLACEMENT.

Il paraît évident à présent qu'une place à feu disposée à l'ombre dans un secteur climatique froid perdra une grande partie de ses avantages et de son efficacité puisque la date de germination y sera très tardive. Inverse-

Schéma récapitulatif des interventions sylvicoles

Type de régénération	Bioclimat	Lieux types	En général
Sous le couvert de chêne-vert et Hors couvert	Chaleurs précoces ou pluviosité élevée, ou les deux facteurs simultanément.	Ifrane Mouyougou	Recépage modéré du chêne-vert pour aboutir à un équilibre entre le couvert et le découvert.
Sous le couvert de chêne-vert uniquement a) en plein ombrage	Etés secs et chauds.	Versant sud du Djbel Hebri	Conservation totale du couvert de la cépée de chêne-vert et éclaircie ultérieure après l'installation des semenciers.
	Chaleurs printanières assez tardives. Etés chauds et secs. Pluviosité moyenne.	Kissarit	Maintien d'un taillis de chêne-vert de densité modérée réalisant de belles plages d'ensoleillement. Les décapages sous ombrage amélioreront la situation.
Hors couvert uniquement	Froids presque toujours tardifs. Pluviosité moyenne à importante.	Cédraie d'Itzer Senoual	Suppression systématique des couverts denses. L'éclaircie du chêne-vert doit être sévère pour réaliser de belles plages ensoleillées non boisées. Les décapages sont indispensables.
Absence totale de régénération	Froids toujours tardifs ou pluviosité très faible (inférieure à 500 mm).	Tiguelmamine Altitude élevée > 2100 m	Suppression totale du couvert dans les limites de conservation du nombre minimum de semenciers. Le chêne-vert doit être recépage systématiquement. Les décapages doivent être régulièrement entretenus.

ns les divers bioclimats de régénération du cèdre

Choix de l'intervention			
En fonction du sol	En fonction de l'exposition		Emplacement des places à feu
	Versants nord	Versants sud	
couvert du chêne-vert doit être plus important sur sols rouges argileux .	Eclaircie plus poussée du chêne-vert et du cèdre.	Eviter les trop fortes éclaircies.	Indifférent
ntien du couvert de chêne-vert essentiel sur sol rouge argileux .	Eclaircie très prudente du chêne-vert et du cèdre.	Conserver le maximum de couvert.	A l'ombre
couvert du taillis de chêne-vert est sans doute essentiel sur sol rouge argileux.	L'éclaircie dans le cèdre ou le chêne-vert doit commencer à être importante.	Eclaircie très prudente dans les deux essences.	Sous l'ombre portée à 14 heures
suppression du couvert doit être d'autant plus importante que l'on est sur un sol argileux. Elle est essentielle sur matériaux sableux et un peu moins sur matériaux basaltiques.	Eclaircies sévères dans le cèdre et recépage fréquent du chêne-vert.	Eclaircie sérieuse du cèdre et recépage régulier du chêne-vert avec maintien de quelques ombrages partiels.	A découvert
érations à généraliser sur tous les types de sols.	Eclaircie maximum et décapages obligatoires.	La conservation d'un plus grand nombre de semenciers (cèdre) peut être autorisée.	En plein découvert

ment il convient de ne pas placer un brûlis en plein découvert là où l'ombrage est nécessaire aux semis.

On peut donc donner comme règle générale l'installation des places à feu en plein découvert là où le chêne-vert n'abrite aucun semis et où la génération se fait en plein vide (altitude supérieur à 1850 - 2000 m).

Au contraire elles doivent toujours être disposées à l'ombre là où les semis requièrent le couvert du taillis de chêne-vert (altitude inférieure à 1850 m). La même règle doit être adaptée aux microclimats susceptibles d'être rencontrés et que l'on appréciera en fonction du type de régénération.

b) OPPORTUNITÉ DANS LE TEMPS.

La minéralisation par le feu de déchets organiques ou même du sol, produit essentiellement *des composés solubles*. C'est cette solubilité qui met les éléments nutritifs à la disposition de la plante. Malheureusement la fertilité ainsi acquise est d'autant plus fugace qu'elle est plus mobile et que le sol ne peut la retenir.

Il en découle que la place à feu doit être faite, dans le temps, à la période de l'année la plus proche de la période de germination et par ailleurs, avant la fin de l'ensemencement naturel.

De la sorte le lessivage des produits solubles n'aura pas le temps de se produire avant l'installation des plantules.

Suivant les dates de germinations observées et déjà fixées dans notre étude il deviendra opportun d'opérer les brûlis avant janvier en cédraie basse et dans le courant des deux premiers mois de l'année en cédraie haute. La date limite étant déterminée par la fin de l'ensemencement.

Il y a certainement là un choix délicat qui ne pourra sans doute être fixé qu'après une étude précise des périodes de dissémination de la graine de cèdre.

N'oublions pas enfin le mécanisme de régénération par tache qui peut trouver sur la place à feu un point de départ à son fonctionnement grâce à l'implantation naturelle de quelques semis.

5. Régénération artificielle

Le cas de la régénération par semis artificiels est naturellement très spécial. Il règle quelques difficultés, comme celle de la fertilité des semen-

ciers mais il ne saurait résoudre à lui seul le problème de la régénération pour deux raisons essentielles :

a) PLANTATION.

L'installation d'un plant de cèdre élevé en pépinière même s'il peut arriver à s'adapter au sol et au climat sera soumis aux mêmes règles générales que la cédraie naturelle et sa descendance ne sera pas davantage assurée.

b) SEMIS.

Le succès d'un reboisement artificiel par semis reste étroitement dépendant de la probabilité météorologique d'une année favorable climatiquement à l'emplacement considéré. Ceci implique une répétition soutenue pendant plusieurs années successives, desensemencements sur un même dispositif d'une part et un choix des emplacements où la probabilité de survie des plantules est la plus grande d'autre part. Ce choix sera fait en se conformant aux règles que nous avons énoncées concernant les divers secteurs climatiques, et *en tous cas dès le mois de novembre*.

Il en résulte qu'en zone d'altitude la pratique de telles opérations sera peu rentable parce que la probabilité de survie des germinations y sera très faible. Si on en juge par la fréquence des germinations naturelles il ne faut guère compter sur plus de deux années favorables par siècle.

En zones altitudinales basses, au contraire, la fréquence des années favorables est grande et le succès pourrait être assuré en quelques années. Il se doublerait d'ailleurs ici d'une garantie quant à la régénération naturelle issue des nouveaux reboisements.

c) CAS PARTICULIER DES CHÊNAIES DE BASSE ALTITUDE HORS DE LA LIMITE ACTUELLE DU CÈDRE.

Ici l'enrésinement artificiel s'impose du fait de l'absence des semenciers. Nous renvoyons le lecteur aux données précises fournies par les abaques climato-écologiques (n^{os} 19 et 22 sous pochette) qui fixent très exactement les conditions de l'ensemencement dans l'espace, dans le temps et suivant les divers milieux.

d) PLACES A FEU.

Afin de pallier une absence inopportune d'ensemencement naturel, nous conseillons instamment d'effectuer des semis artificiels sur toutes places à

feu résultant d'une exploitation faite dans le courant de la dernière année agricole.

Cet ensemenement qui pourrait être effectué par le service forestier devrait donc être lié systématiquement à toute exploitation pour bénéficier, avec le maximum de chances, des conditions écologiques et édaphiques ainsi créées et d'ailleurs prévues par le cahier des charges.

CONCLUSIONS GENERALES

Avant de résumer les principales conclusions de cette étude, il est bon de rappeler que nos travaux de recherche sur la régénération du cèdre ont débuté en 1960.

C'est dire à la fois l'étendue des problèmes posés et leur complexité. Aussi, si aujourd'hui nos efforts débouchent sur des principes d'application directs en matière sylvicole, ceci devrait à notre avis traduire non seulement un important progrès dans la connaissance du cèdre, mais aussi concrétiser l'efficacité de la méthode de recherche. C'est pourquoi nous croyons pouvoir tirer deux sortes de conclusions générales : l'une d'ordre forestier proprement dit, l'autre d'ordre méthodologique.

Conclusions d'ordre forestier

On peut constater finalement que si les moyens dont dispose le forestier sont relativement nombreux pour assurer à la régénération des chances optimales, leur probabilité de réussite est assez restreinte dans toute une partie de la cédraie actuelle.

Cette disproportion, entre les zones de cédraie basse (altitude inférieure à 1850 m) où la régénération peut facilement être stimulée sous l'effet des interventions et les zones plus élevées où au contraire toute action reste subordonnée à son opportunité dans le contexte météorologique, reflète finalement, dans la pratique, le *climax de régénération* tel que nous l'avons mis en évidence. Il n'y a pas lieu de s'en étonner.

Au contraire, nous ne croyons plus que l'homme pourra réinstaller le cèdre partout où il se trouve à l'aide d'une méthode simple qui s'apparenterait à « la recette ». Il n'y a pas de recette dans le domaine de la biologie car les phénomènes sont trop complexes comme nous avons pu le voir.

Le forestier doit préparer le terrain aux phénomènes naturels, il ne semble pas, dans le cas présent tout au moins, qu'il puisse aller *contre* eux :

c'est le principe qu'il serait bon d'adopter dans l'aménagement futur de la cédraie. Il sera d'ailleurs très difficile de rédiger des règles suffisamment rigides pour définir une exploitation, mais, aussi, suffisamment souples pour permettre une application raisonnée et non aveugle dans tous les cas particuliers de microclimats.

Nous débordons là dans un domaine qui n'est déjà plus le nôtre. Il nous reste à ajouter une note plus optimiste qui constitue finalement l'une des principales conclusions pratiques de notre étude.

Il existe dans la régénération du cèdre au Maroc un effet de compensation des phénomènes naturels comme il s'en présente souvent dans la nature. Si la disparition de la cédraie en altitude est en cours et même si celle-ci devait se poursuivre, il est quasi certain que le forestier peut sinon récupérer la totalité des superficies ainsi perdues, du moins accroître l'aire d'extension de la cédraie à basse altitude.

BOUDY écrivait déjà avant nous : « Dans la région d'Azrou, zone « optimale du cèdre dans le Moyen Atlas, la limite inférieure est, à l'heure « actuelle, uniformément de 1600 mètres. Mais en réalité, elle est certaine- « ment de 1300, la limite primitive ayant été refoulée par les exploitations « indigènes (dans le reboisement de Bou-Ighial, près d'Azrou, à 1300 m, « le cèdre donne d'excellents résultats » (1950, fasc. II, page 539).

Il serait donc souhaitable dans l'immédiat d'enrésiner les chênaies de basse altitude.

Ce biais permettrait, en tout premier stade, de sauvegarder l'étendue d'un capital forestier devenu apparemment très fragile dans son aire supérieure.

Des conclusions plus générales concernant le régime climatique du Moyen Atlas marocain et d'autres qui déterminent les conditions écologiques de régénération du cèdre, peuvent être formulées.

Du point de vue climatique nous aboutissons à l'hypothèse d'une modification du régime thermique ou pluviométrique dans le courant des derniers siècles. Comme nous l'avons dit, il ne s'agit sans doute pas d'une véritable transformation du climat mais plutôt d'une évolution des régimes saisonniers vers la continentalité sans qu'il soit nécessaire d'invoquer un changement des précipitations totales annuelles. Il est bon, ici, d'anticiper sur des recherches faites actuellement sur l'écologie du chêne-liège et qui aboutissent curieusement aux mêmes conclusions.

Il ne fait pas de doute dans notre esprit que l'étage du cèdre au Maroc doit son étendue à la longévité de l'arbre et non à un équilibre parfait avec le climat. Cet étage serait fortement réduit à l'heure actuelle si nous avions affaire à une essence moins longévive.

En particulier, tous les secteurs altitudinaux sur calcaire compact ou même sur dolomie ne pourraient vraisemblablement plus être qualifiés de forêt.

L'occurrence trop tardive de température printanières chaudes interdit au cèdre de s'y régénérer. Il en résulte inversement un déplacement de la cédraie vers les zones altitudinales inférieures.

Les facteurs de la régénération sont finalement tous sous la dépendance du climat et le facteur ombrage en est l'un des exemples les plus frappants de notre étude. L'espérance pluviothermique vient ici nous apporter une preuve que les observations antérieures n'avaient pu établir : à partir de 1850-1900 mètres d'altitude, le couvert devient en effet néfaste, de la même façon que d'autres facteurs du milieu tels que les sols, la concurrence herbacée, peuvent venir détruire l'équilibre instable réalisé naturellement à la limite des possibilités de régénération du cèdre. La destruction de cet équilibre peut alors se produire dans un sens ou dans un autre.

S'il est modifié dans le sens où il permet l'installation des semis (influence des sols basaltiques par exemple en altitude ou action favorable du couvert à moyenne altitude), les facteurs en cause apparaissent avec leur plus grande netteté mais leur action favorable *ne peut pas être généralisée* comme on a trop eu tendance à le faire.

Si au contraire l'équilibre est détruit par un facteur qui interdit la régénération — c'est le cas de la présence d'argiles de décalcification — alors on peut voir la disparition subite des semis ou même de la cédraie, exactement à la limite géologique séparant les calcaires compacts de la dolomie sableuse ou du basalte. Nous nous plaisons à citer ici les écrits de DEMOYEN, sous-inspecteur des Eaux et Forêts en Algérie, il y a un siècle, en 1864 : « J'ai pu constater la présence du cèdre dans un état de végétation peu ordinaire, à 1900 mètres. Les terrains siliceux lui conviennent tout particulièrement ; dans les calcaires il atteint de moins belles dimensions et dans les sols argileux il présente tous les signes du dépérissement ».

Conclusions d'ordre méthodologique

L'étude analytique des facteurs du milieu (LEPOUTRE 1961) précédant l'essai de synthèse est classique, mais le cheminement systématique du

raisonnement depuis l'analyse d'un facteur déterminé jusqu'à la vérification *immédiate* des hypothèses qui en découlent, c'est-à-dire la tentative de synthèse effectuée à chaque stade principal de la recherche nous est apparue extrêmement efficace car elle permet d'éviter la poursuite de travaux dans des voies secondaires qui ne sauraient faire progresser la résolution du problème posé. On notera en effet que le choix de chaque sujet traité depuis le début de nos recherches a été systématiquement déterminé par les lacunes apparues dans l'élaboration de la synthèse.

L'analyse des facteurs édaphiques (LEPOUTRE 1961) nous avait conduit à l'étude de la nutrition minérale des semis, celle-ci nous avait fait découvrir le rôle important des mycorrhizes, enfin, la poursuite de l'étude des milieux fongiques nous a finalement orienté vers l'interprétation du milieu climatique.

Dans cette dernière, il faut insister sur l'efficacité de la nouvelle méthode employée, en soulignant l'étendue et la précision des conclusions qu'elle a permis.

Il s'agissait bien entendu de l'étude du cèdre, mais il se dégage à présent des conclusions d'un ordre beaucoup plus général, car il apparaît bien que la méthode d'étude des conditions bioclimatiques de régénération, basée sur les *espérances pluviothermiques*, peut être étendue, à la fois à d'autres essences forestières, mais aussi à d'autres domaines de l'agriculture chaque fois que la date de germination sera déterminante du succès de l'opération culturale.

Dans ce domaine entrent évidemment l'étude écologique en climat méditerranéen où la saison sèche estivale vient renforcer l'importance du facteur précocité des semis, également sans doute celle d'autres climats où la période de végétation est étroitement circonscrite entre une limite estivale (sécheresse) et une limite hivernale (froid).

Nous pensons en particulier du point de vue forestier à l'étude écologique d'essences limitrophes des climats méditerranéens (Alpes sèches par exemple), plus généralement aussi à l'étude des étages altitudinaux de végétation. On pourrait sans doute par notre méthode déterminer les limites supérieures de ces étages où le régime thermique hivernal ou printanier doit fixer la durée des périodes de végétation compatibles avec la survie des semis. A la limite supérieure on trouverait l'étage alpin asylvatique.

RÉSUMÉ

Essai de synthèse sur le mécanisme de régénération du cèdre dans le Moyen Atlas marocain

La connaissance du régime thermique en cédraie, permettant de fixer la date d'apparition des plantules de cèdre, comme l'ont montré des travaux antérieurs, la détermination des chances de survie des plantules dans leur première année de croissance pouvait dès lors être envisagée.

La suite logique du raisonnement de l'auteur le conduit à considérer ces chances comme liées proportionnellement à la quantité d'eau que recevra la plantule *pendant sa première année de croissance*. De la même façon il considère ces chances comme inversement proportionnelles à l'évaporation que subira le sol *pendant la même période de croissance*.

Finalement l'auteur étudie l'évolution dans le temps du rapport $\frac{P_e}{E_e}$ de ces deux valeurs. Il réalise ainsi une étude bioclimatique des conditions de survie du jeune cèdre basée sur l'évolution d'un indice climatique dans le courant de l'année agricole.

L'évaporation E est calculée en empruntant l'expression d'EMBERGER $M+m$
 $(\frac{M+m}{2})(M-m)$ et le rapport étudié est finalement le quotient d'EMBERGER.

Après que les observations de terrain ont montré l'existence d'un seuil limite de la valeur de ce rapport en dessous duquel les chances de survie des plantules s'annulent et après avoir déterminé ce seuil pour les divers types de sol, l'auteur est à même de comparer les conditions de survie des plantules et de donner leur répartition géographique.

L'établissement d'un abaque écologique de la régénération permet enfin pour les stations à découvert de réunir à la fois les conditions thermiques, pluviométriques, altitudinales, biologiques et édaphiques, moyennes annuelles.

La valeur du rapport $\frac{P_e}{E_e}$ au moment de l'apparition des plantules est appelé espérance pluviothermique par analogie avec le quotient annuel pluviothermique déterminé par EMBERGER.

Une étude analogue est ensuite entreprise en ce qui concerne le couvert et le rôle important joué par le chêne-vert dans la régénération du cèdre. L'auteur aboutit de la même façon à déterminer une espérance pluviothermique sous le couvert et à fixer les chances de survie des plantules dans ces conditions de micromilieu climatique.

Une abaque écologique concrétise l'ensemble des résultats et donne leur valeur moyenne annuelle, donc leur probabilité dans le temps comme pour les stations à découvert.

Après avoir montré la correspondance exacte de sa théorie des espérances pluviothermiques avec les faits concrets observés en forêt, l'auteur développe alors quelques conséquences d'ordre général sur le climax de la régénération, sur une nouvelle notion d'essences d'ombre et de lumière, sur l'occurrence des lisières de régénération, sur les possibilités d'enrésinement des chênaies de basses altitude et enfin sur l'évolution climatique actuelle.

L'ensemble des conclusions est finalement exploité dans le sens de leur application et toute une série de règles fondamentales sont données en vue de l'élaboration d'un nouvel aménagement de la cédraie.

SUMMARY

**A synthesis on the mechanism
of regeneration of *Cedrus atlantica* Mann.
in the Moroccan Middle Atlas**

As demonstrated in previous studies, since the knowledge of the thermal regime in a cedar forest allows the définition of the date of seedlings spearing, consequently, the determination of chances for the viability of seedlings during the first years of growth can be envisaged.

The author's deductive reasoning leads him to account these chances as being proportionnaly linked with the quantity of water received by the seedlings during the first year of growth.

In the same manner he considers these chances to be inverse proportional to the evaporation to which the soil will be submitted during the same stage of growth.

Finally the author studies the evolution in time of the $\frac{P_e}{E_e}$ ratio of these two values. He therefore carries out a bioclimatic study of the viability conditions of the cedar genus, based on the evolution of the climatic index, during the annual growing stage.

The evaporation E is calculated by adopting EMBERGER's expression $\frac{M+m}{2}$ ($\frac{M+m}{2}$)($M-m$) and the studied ratio is finally similar to EMBERGER's quotient.

The studies of the soil having shown the existance of a finite level for this ratio below which the chances of viability are null, and after having fixed this level for all different types of soil, the author is able to compare the seedlings viability conditions in different sites and determine their geographical distribution.

Drawing up an ecological regeneration diagram makes it finally possible to gather at a time the annual average thermal, rainfall, biological, altitudinal and edaphic conditions.

The $\frac{P_e}{E_e}$ ratio value at the time of the seedlings' spearing is named « pluviothermic hope » analogically to EMBERGER's « pluviothermic quotient ».

A similar study is then made on covered sites and the important part played by « *Quercus Ilex* » in the regeneration of « *Cedrus atlantica* ».

The author succeeds in the same manner to determine a « pluviothermic hope » in covered sites and to fix the viability chances of seedlings under the conditions of a climatic micromedium.

An ecological diagram concretizes the whole of covered sites and gives their average annual values therefore also their probabilities in time as for the open sites.

Having shown the exact correspondence of this theory of « pluviothermic hope » with concrete facts observed in forests, the author then develops several general consequences on the regeneration climax on a new notion of shade bearer and light demander species, on the occurrence of regeneration skirts, on the possibility of conifer establishments in low altitudinal oak forests, and finally, on the present climatic evolution.

Finally, the sum of inferences is carried into practice and a series of fundamental rules are given in order to elaborate a new management of cedar forests.

ZUSAMMENFASSUNG

Versuch einer Synthese über den Mechanismus der Verjüngung der Zeder im Marokkanischen Mittleren Atlas

Die Kenntnisse der Temperaturverhältnisse im Zedernwald ermöglichen den Zeitpunkt des Erscheinens der Zedernwildlinge zu bestimmen, wie es die vorherigen Untersuchungen gezeigt haben. Die Möglichkeiten des Ueberlebens der Wildlinge in ihrem ersten Lebensjahre können dann vorherbestimmt werden.

Die logische Schlussfolgerung des Verfassers führt ihn dazu die Möglichkeiten zu erwägen, wie sie im Verhältnis mit den Wassermengen, welche der Wildling während seines ersten Lebensjahres erhalten wird, verbunden sind. Auf dieselbe Art erwägt er diese Möglichkeiten, im umgekehrten Verhältnis, zur Verdunstung des Bodens während derselben Lebenszeit.

Zum Schluss studiert der Verfasser die Entwicklung in der Zeit des Verhältnisses der beiden Werte $\frac{P_e}{E_e}$. Er führt deshalb ein bioclimatisches Studium der Bedingungen des Ueberlebens der Zedernart durch, auf Grund der Entwicklung einer klimatischen Messzahl während des landwirtschaftlichen Jahres.

Die Verdunstung E wird bei Anwendung der EMBERGERSchen Gleichung $\frac{M+m}{2}$ ($\frac{M+m}{2}$) ($M-m$) berechnet, und das gefundene Verhältnis ist dasselbe wie der EMBERGERSche Quotient.

Nachdem die Beobachtungen des Bodens zeigten, dass dieses Verhältnis eine Grenze hat, unter welcher die Möglichkeit des Ueberlebens der Wildlinge gleich null wird, und nachdem diese Grenze für verschiedene Arten von Böden bestimmt wurde, ist der Verfasser in der Lage die Bedingungen des Ueberlebens der Wildlinge zu vergleichen, und ihre geographische Verteilung zu bestimmen.

Die Ausarbeitung eines oecologischen Diagramms der Verjüngung erlaubt es nunmehr für die unbewaldeten Standorte die Temperatur, Regenhöhen, biologische- und edaphische Jahresmittelverhältnisse zu vereinigen.

Der Wert der Gleichung $\frac{P_e}{E_e}$ im Moment des Erscheinens der Wildlinge wird « pluviometrische Hoffnung » genannt, entsprechend dem EM-BERGERSCHEM « pluviothermischem » jährlichen Quotienten.

Anschliessend wurde dieselbe Untersuchung bezüglich des Kronendaches und der wichtigen Rolle, welche *Quercus ilex* in der Verjüngung des Zeders spielt unternommen. Der Verfasser konnte, auf die gleiche Art, zur Bestimmung der « Pluviothermischen Hoffnung » unter dem Kronendach, und zur Bestimmung der Möglichkeit des Ueberlebens der Wildlinge unter den gegebenen Bedingungen des klimatischen Micronährbodens, kommen.

Ein oecologisches Diagramm fasst die Ergebnisse zusammen und zeigt deren Jahresmittelwerte, somit dehen Wahrscheinlichkeit in der Zeit, und für die unbewaldeten Standorte.

Nachdem die genaue Uebereinstimmung seiner Theorie der « pluviothermischen Hoffnung » mit den, im Walde beobachteten, Tatsachen gezeigt wurde, entwickelt der Verfasser daraufhin einige Folgerungen allgemeiner Natur über das Klimax der Verjüngung, über einen neuen Begriff der Schatten- und Lichtholzarten, über das Vorkommen einer Waldrand Verjüngung, über die Möglichkeiten Nadelhölzer in die Eichenwälder der niederen Höhen einzuführen und endlich über die gegenwärtige klimatische Entwicklung.

Das Gesamtergebnis ist schliesslich im Sinne seiner Anwendungsmöglichkeiten ausgewertet, und eine ganze Reihe von Grundregeln wurden in Hinsicht auf eine neue Forsteinrichtung des Zedernwaldes gegeben.

BIBLIOGRAPHIE

Principaux ouvrages consultés

1951. ALAUX et CANABY. — Historique du reboisement des Corbières. *R.F.F.*, n° 5, mai 1951, p. 321.
1953. AUBERT (C.G.). — Le cèdre dans l'Ouest de la France (l'exemple de La Roche-de-Brau). *R.F.F.*, n° 12, décembre 1953, pp. 817-821.
1950. AZZI (G.). — Ecologie agricole. Edit. Baillères, Paris, 1954.
1954. BASBOUS (M.). — Note sur l'extension du cèdre au Liban in Colloque sur la protection et la conservation de la nature dans le Proche-Orient. UNESCO, 1954, pp. 118-120.
1950. BOUDY (P.). — Economie forestière nord-africaine. T. I et II. Edit. Larose, Paris, 1948-1950.
1950. BOUVAREL. — Les principales essences forestières du Liban. *R.F.F.*, n° 6, juin 1950, pp. 323-332.
1922. BRUN. — Le cèdre au mont Ventoux et en Provence. *Rev. des E. et F.*, août 1922, pp. 249-256.
1927. BUFFAULT (P.). — Le cèdre du Liban. *Rev. des E. et F.*, 1927, p. 601.
1923. CHAUDEY (R.). — Germination de la graine de cèdre. *Rev. des E. et F.*, février 1923, pp. 64-68.
1963. DUBIEF (J.). — Contribution au problème des changements de climat survenus aux cours de la période couverte par les observations météorologiques faites dans le Nord de l'Afrique. *Rech. sur la zone aride* : « Les changements de climats ». UNESCO, 1963, pp. 75-79.
1927. DUCAMP (R.). — A propos des bois et forêts du versant méditerranéen français et de l'introduction du cèdre. *Bull. Silva. mediterranea*, déc. 1927, pp. 16-24.
1951. DUCHAUFOR (Ph.). — Note sur l'influence de la concurrence et de la perméabilité sur la régénération de certaines essences forestières (Mélèze et Cèdre). 70^e Congrès Assoc. fr. pour l'avancement des Sc., Tunis, 1951, p. 422.
1954. DUCHAUFOR (Ph.). — Note sur l'influence de l'incinération sur l'évolution de l'humus. *R.F.F.*, 1954, p. 316.
1926. DE MONCHY (M.) et REYNIER (M.). — Les reboisements en cèdre et propagation de cette essence dans l'inspection d'Avignon. *Bull. Silv. mediterranea*. Ann. III.1, Firenze, 1926, pp. 33-44.

1930. EMBERGER (L.). — La végétation de la région méditerranéenne. Essai d'une classification des groupements végétaux. *Rev. gén. de Bot.*, t. XLII, Paris, 1930.
1933. EMBERGER (L.). — Nouvelle contribution à l'étude de la classification des groupements végétaux. *Rev. gén. de Bot.*, Edit. Libr. gén. de l'Enseignement, Paris, 1933, pp. 473-486.
1935. EMBERGER (L.). — La distribution géographique du cèdre au Maroc. *C.R. séances Soc. de Biogéographie*, 18 oct., C.N.R.S., 1935.
1938. EMBERGER (L.). — Aperçu général sur la végétation du Maroc. Edit. Hans Huber, Berne, 1938.
1938. EMBERGER (L.). — Contribution à la connaissance des cèdres et en particulier du Deodar et du cèdre de l'Atlas. *Rev. Bot. appl. et Agric. tropic.*, février 1938, n° 198, pp. 77-92.
1951. EMBERGER (L.). — Les bases écologiques de la régénération de la végétation des zones arides. *Union int. Sc. Biol.*, série B, n° 9. Edit. U.I.S.B., Paris, 1951, pp. 50-61.
1953. EMBERGER (L.). — La végétation de l'Italie d'après A. GIACOBBE et remarques sur la méthode en géographie botanique écologique. *Rec. Trav. Labo. Fac. Montpellier*, série bot., fasc. 6, Montpellier, 1953, pp. 19-31.
1955. EMBERGER (L.). — Une classification biogéographique des climats. *Rec. Trav. Labo. Fac. Sc. Montpellier*, série bot., fasc. 7, Montpellier, 1955, pp. 3-45.
1949. FAUREL et LAFFITE. — Facteurs de répartition des cédraies dans les massifs de l'Aurès et du Belezama. *Bull. Soc. Hist. nat. Afr. Nord*, mai-juin, t. 40, Alger, 1949, p. 178.
1958. FOURNIER D'ALBE. — Les modifications des microclimats. *Rech. sur la zone aride*, « Climatologie », UNESCO, 1958, pp. 140-163.
1954. FOURCHY (P.) et LEMPS (F.). — Un exemple de mise en valeur des taillis de chêne pubescent au moyen du cèdre « La Trouhaude ». *R.F.F.*, n° 3, mars 1954, pp. 151-159.
1934. GAUSSEN (H.). — Les étages méditerranéens. *Assoc. fr. pour l'avancement des Sc.*, C.R. de la 58^e session, Rabat, 1934, pp. 249-254, Paris, 1934.
1938. GAUSSEN (H.). — Climats, climax et étages de végétation. *Boletín de Soc. Broteriana*, vol. XIII, série II, 1938.
1950. GAUSSEN (H.). — Le dynamisme des biocénoses végétales. *Coll. Int.*, C.N.R.S., Paris, 1950.
1932. GUINIER (Ph.) et GENTY (P.). — La cédraie de la Trouhaude. *Bull. Soc. Bot. de France*, t. 79, n° 5-6, 1932, pp. 485-488.
1963. KUBIENA (W.L.). — Paléosoils as indicators of paléoclimates. *Rech. sur la zone aride* : « Les changements de climats », UNESCO, 1963, p. 207.

1928. LAPIE (G.). — La sylviculture française dans la région méditerranéenne. *Ann. Ec. nat. E. et F.*, t. II, fasc. 1, Edit. Berger-Levrault, Paris, 1928. pp. 27-106.
1954. LARCHER (W.). — Forest resistance in mediterranean evergreen and its susceptibility to modification. *Planta*, t. 44, fasc. 6, Berlin, 1954, p. 607.
- LAVAUDEN (L.). — Les forêts des Basses-Alpes. *Le chêne*, n° 17, pp. 5-17.
1961. LEPOUTRE (B.). — Recherches sur les conditions édaphiques de régénération des cédraies marocaines. *Ann. Rech. for. au Maroc*, t. 6, fasc. 2, S.R.F., Rabat, 1957-61.
1963. LEPOUTRE (B.). — Suite d'observations sur la régénération du cèdre par taches. *Ann. Rech. for. au Maroc*, 1962-63, fasc. 1, S.R.F., Rabat, 1964.
1963. LEPOUTRE (B.) et PUJOS (A.). — Facteurs climatiques déterminant les conditions de germination et d'installation des plantules de cèdre. *Ann. Rech. for. au Maroc*, 1962-63, fasc. 1, S.R.F., Rabat, 1964.
1963. MALLET (J.). — Réflexions et observations sur quelques mélanges résineux feuillus. *R.F.F.*, n° 6, juin 1963, pp. 537-540.
1959. MANIL (G.). — Climax et pedoclimax. *Bull. de la Soc. roy. Bot. de Belgique*, t. 91, pp. 217 à 238.
1963. MANIL (G.). — Profil chimique, solum biodynamique et autres caractéristiques écologiques du profil pédologique. *Science du sol*, n° 1, mai 1963.
1955. MARION (J.). — La régénération naturelle du cèdre dans les cédraies du rebord septentrional du Moyen-Atlas occidental calcaire. *Ann. Rech. for. au Maroc*, fasc. 1, S.R.F., Rabat, 1953-54-55.
1960. MAURY (R.). — Le reboisement de la forêt de Bedouin et son enseignement. *Ann. Ecole E. et F.*, t. 12, fasc. 1, Nancy, 1960, p. 119.
1958. MIKOLA in BOULLARD. — Progrès récents dans l'étude des mycorrhizes ectotrophes. *Bull. Soc. bot. France*, t. 105, n° 1-2, 1958.
1951. MONOD (Th.). — Biologie et régions arides. *Union int. des Sc. biol.*, n° 9, série B, Paris, 1951, pp. 33-44.
1930. MOUGIN (P.). — Une essence de reboisement à propager : le cèdre. *Bull. Soc. for. Franche-Comté*, t. XVIII, n° 5, mars 1930, pp. 360-363.
1962. OVINGTON (J.D.). — Quantitative Ecology and the woodland Ecosystem Concept in Adv. in ecological Research, vol. 1, édit. Academic Press, London-New-York, 1962, pp. 103-192.
1927. PAVARI (A.). — Il cedrus atlantica in Italica. *Bull. Silva mediterranea*, Firenze, déc. 1927, pp. 8-15.
1961. PÉGUY (Ch.P.). — Précis de climatologie. Edit. Masson, Paris, 1961.
1960. PRIGNON. — Mesures microclimatiques en pessières âgées. *Bull. Soc. for. Belg.*, n° 12, Bruxelles, 1960.

1964. PUJOS (A.). — Les milieux de la cédraie marocaine. *Ann. Rech. for. au Maroc* (en préparation).
1963. QUEZEL (P.). — De l'application de techniques palynologiques à un territoire désertique. Paléoclimatologie du quaternaire récent au Sahara. *Rech. sur la zone aride* : « Les changements de climats », UNESCO, 1963, pp. 243-449.
1964. ROLL (R.). — A propos des « cèdres ». *R.F.F.*, n° 3, mars 1964.
1926. SALVADOR (M.). — Monographie du cèdre dans le midi de la France. *Bull. Silv. mediterranea*, ann. III, 1, Firenze 1926, pp. 27-33.
1961. SAUVAGE (Ch.). — Recherches géobotaniques sur les subéraies marocaines. Trav. de l'Inst. sc. chérifien, Rabat, 1961.
1962. SAUVAGE (Ch.). — Le coefficient pluviothermique d'Emberger, sa signification et son utilisation au Maroc. *C.R. Soc. Sc. nat. et phys. du Maroc*, 1962, n° 5 et 6, pp. 101-102.
1963. SAUVAGE (Ch.). — Etages bioclimatiques. Comité national de Géogr. du Maroc, Rabat, 1963.
1958. VERNET (A.). — Climat et végétation. *Rech. sur la zone aride* : « Climatologie », UNESCO, 1958, pp. 84-111.

DEUXIÈME THÈSE

Vu et permis d'imprimer - N° 419.
Montpellier, le 13 janvier 1966.

*Le Recteur de l'Académie
de Montpellier,*

Vu et approuvé.
Montpellier, le 8 janvier 1966.

*Le Doyen
de la Faculté des Sciences,*

